

PROSIDING RITEKTRA

MAKASSAR, 2 - 3 AGUSTUS 2018

<http://ritektra.uajm.ac.id>

ISBN 978-602-07094-7-6



Supported By:



Seminar Nasional Riset dan Teknologi Terapan VIII

REKAYASA DAN INOVASI IPTEKS DALAM MEMBANGUN NEGARA MARITIM

**PROSIDING
SEMINAR NASIONAL
RISET DAN TEKNOLOGI TERAPAN KE 8
(RITEKTRA VIII) 2018**

REKAYASA DAN INOVASI IPTEKS DALAM MEMBANGUN NEGARA MARITIM



PERGURUAN TINGGI PENYELENGGARA SEMINAR



PERGURUAN TINGGI PELAKSANA



UNIVERSITAS ATMA JAYA MAKASSAR
Alamat: Jl. Tanjung Alang, No 23, Makassar
Telp. (0411)871038/871733, Fax. (0411)870294
Website: www.uajm.ac.id

**Diterbitkan Oleh:
Fakultas Teknik
Unika Atma Jaya Jakarta, Jakarta Pusat**

SUSUNAN DEWAN REDAKSI
SEMINAR NASIONAL RISET DAN TEKNOLOGI TERAPAN KE 8
(RITEKTRA VIII) 2018

Diseminarkan pada tanggal 02 Agustus 2018, di Universitas Atma Jaya Makassar, Makassar

Pelindung	:Rektor Universitas Atma Jaya Makassar
Pengarah	:Dekan Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Makassar
Ketua Panitia	:Ir. Yuada Rumengan,M.T.
Sekretaris	:Erick Alfons Lisangan,S.T.,M.Sc.
Kesekretariatan	:Simon Patabang,S.T.,M.T. Elisabeth,S.Kom,M.SI. Markus Reken
Seksi Acara	:Yudith Helene Mustakim,S.T.,M.T.
Editor dan Penata Letak	: Simon Patabang,S.T.,M.T.
Desain Sampul	: Elisabeth,S.Kom,M.SI.

Penelaah/Reviewer:

1. Dr. Ir. Iswanjono, M.T. (Universitas Sanata Dharma Yogyakarta)
2. Lianly Rompis, S.T., M.ITS (Universitas De La Salle Manado)
3. Bernadeta Wuri Harini, MT (Universitas Sanata Dharma Yogyakarta)
4. Jeremias Leda, S.T., M.Sc. (Universitas Atma Jaya Makassar)
5. Ir. Kinley Aritonang, Msie., Ph. D. (Universitas Parahyangan Bandung)
6. Ronald Rachmadai, S.T., M.T. (Universitas De La Salle Manado)
7. Dr. Melani Adrian (Universitas De La Salle Manado)
8. Debby Paseru, S.T., MMSI., M.Ed (Universitas De La Salle Manado)
9. Immanuella Saputro, S.Si., M.T. (Universitas De La Salle Manado)
10. N. Tri Suswanto Saptadi, S.Kom, M.M., M.T. (Universitas Atma Jaya Makassar)
11. Adi Chandra Syarif, M.Sc. (Universitas Atma Jaya Makassar)
12. Dr. Muhammad Dani Supardan, S.T., M.T. (Universitas Syiah Kuala)
13. I Gusti Ketut Puja, M.T. (Universitas Sanata Dharma Yogyakarta)
14. Jeri T Siang, S.T., M.T. (Universitas Atma Jaya Makassar)
15. Tri Basuki Joewono, S.T., M.T., Ph.D. (Universitas Parahyangan Bandung)
16. Dr. Ir. Firdaus Chaeruddin, M.S. (Universitas Atma Jaya Makassar)
17. Richard Frans, S.T., M.T. (Universitas Atma Jaya Makassar)

Tema Seminar:

REKAYASA DAN INOVASI IPTEKS DALAM MEMBANGUN NEGARA
MARITIM

ISBN 978-602-97094-7-6

© Agustus 2018

Diterbitkan Oleh:

Fakultas Teknik

Universitas Katolik Atma Jaya Jakarta

KATA PENGANTAR

Salam Sejahtera,

Puji syukur senantiasa kita panjatkan kehadirat Tuhan yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmatNya kepada kita semua, sebagai warga negara Indonesia.

Indonesia adalah sebuah negara yang memiliki lebih dari 17.000 pulau dan memiliki wilayah yang sangat luas, dimana dua pertiga dari wilayah ini adalah laut. Besarnya potensi kekayaan laut yang dimiliki Indonesia, harus dimanfaatkan untuk menjadikan Indonesia sebagai poros maritim dunia. Peran ilmuwan khususnya bidang keteknikan sangat dibutuhkan.

Para Dekan Fakultas Teknik, Fakultas Teknologi Industri, Fakultas Teknologi Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi yang berhimpun dalam suatu Forum Dekan untuk perguruan tinggi yang tergabung dalam Asosiasi Perguruan Tinggi Katolik (APTIK) seluruh Indonesia, menyadari pentingnya untuk berpartisipasi dan bersama-sama dengan pemerintah mewujudkan Negara Maritim Indonesia yang mandiri.

Salah satu peran tersebut diwujudkan lewat suatu pelaksanaan Seminar Nasional yang berkelanjutan, yang diadakan secara bergilir di antara para anggota APTIK. Pada tahun 2018 ini, Fakultas Teknik dan Fakultas Teknologi Informasi Universitas Atma Jaya Makassar menjadi penyelenggara. Seminar Nasional kali ini adalah yang ke-8 dengan Tema: **Rekayasa dan Inovasi IPTEKS Dalam Membangun Negara Maritim**.

Terima kasih disampaikan kepada Dekan Fakultas Teknik dan Dekan Fakultas Teknologi Informasi serta seluruh panitia dan semua pihak yang telah mendukung terlaksananya kegiatan Seminar Nasional **Riset dan Teknologi Terapan (RITEKTRA)** yang ke-8, Tahun 2018.

Makassar, Agustus 2018

Rektor,

Universitas Atma Jaya Makassar



Ferdinandus Sampe, S.E., M.Bus., Ph.D.

SAMBUTAN KETUA PANITIA

Syalom dan Salam sejahtera.

Sepatutnya dan selaknyalah kita menghaturkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena perkenanNya maka Seminar Nasional Riset dan Teknologi Terapan VIII – 2018, ini dapat dilaksanakan.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, perkenankan kami menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada :

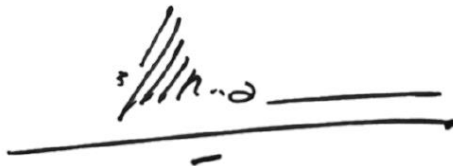
- Pimpinan Universitas Atma Jaya Makassar,
- Para Dekan yang tergabung dalam Forum Dekan Teknik Asosiasi Perguruan Tinggi Katolik (APTIK)
- Para *Keynote Speaker*
- Para Pemakalah dan peserta Seminar
- Para undangan, Sponsor dan alumni serta seluruh Anggota Panitia.

Seminar kali ini adalah Seminar Nasional ke-8, yang merupakan Program dari Forum Dekan Teknik APTIK untuk saling bertukar informasi, pengetahuan dan hasil-hasil penelitian, sebagai salah satu wujud sumbangan untuk kemajuan teknologi.

Akhirnya sekali lagi kami menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang mendukung terlaksananya seminar kali ini. Selamat mengikuti seminar.

Makassar, Agustus 2018

Ketua Panitia Seminar Nasional RITEKTRA 8,



Ir. Yuada Rumengan, M.T.

**SUSUNAN ACARA
SEMINAR NASIONAL RISET DAN TEKNOLOGI TERAPAN KE 8
(RITEKTRA VIII) 2018**

Tema Seminar:
“Rekayasa Dan Inovasi Ipteks Dalam Membangun Negara Maritim”

**UNIVERSITAS ATMA JAYA MAKASSAR
MAKASSAR, 02-03 AGUSTUS 2018**

Waktu	Kegiatan
08.00-09.00	Registrasi Pemakalah/Peserta
09.00-10.00	Pembukaan
	1. Kata Sambutan oleh Ketua Panitia RITEKTRA ke-8
	2. Kata Sambutan oleh Rektor Universitas Atma Jaya Makassar
	3. Kata Sambutan oleh Kepala Badan Layanan Pendidikan Tinggi Wilayah IX
10.00-10.30	<i>Coffee Break</i>
10.30-13.00	<i>Keynote Speaker</i>
	1. Prof. Richardus Eko Indrajit
	2. Felycia Edi Soetaredjo, S.T., M.Phil., Ph.D, IPM
	3. Emilia De Wilde De Ligny, Ph.D
	4. EUR ING Dr Rusdy Hartungi, M.Eng., M.Sc., MBA, MCIBSE, MIET, Int(PE)
13.00-14.00	ISHOMA
14.00-16.30	<i>Parallel Session</i>
	Rapat Forum Dekan
17.00-21.00	<i>Gala Dinner</i>

JADWAL SESI PARALEL SEMINAR NASIONAL RISET DAN TEKNOLOGI TERAPAN KE 8 (RITEKTRA VIII) 2018 UNIVERSITAS ATMA JAYA MAKASSAR

Ruangan : T1

Konsentrasi: Teknik Sipil dan Arsitektur

Moderator : Yudith H. Mustakim, S.T., M.T.

No	Judul Makalah	Nama Pemakalah
1	PENGUNAAN ABU SERABUT KELAPA DENGAN PEMBAKARAN 800 ⁰ DAN 1000 ⁰ CELCIUS SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN PADA BETON	Ade Lisantono Jap Yovita Natalie
2	PENGARUH PENAMBAHAN KAPUR PADA PENINGKATAN KUAT TEKAN BATA TANAH LIAT KAPUR PRESS	Kristiana Bebhe Richardus Daton
3	PERILAKU GESER TANAH YANG DISTABILISASI DENGAN KAPUR - ABU SEKAM PADI DAN TULANGAN SERAT POLYESTER	Hendra Suryadharma John Tri Hatmoko
4	“KEBERLANJUTAN DAN PERUBAHAN” ORIENTASI PERMUKIMAN KAJIAN FENOMENA PERMUKIMAN AIRMATA DI BANTARAN KALI KACA KOTA KUPANG	Reginaldo Christophori Lake
5	PERANCANGAN PERMUKIMAN PADAT PENDUDUK PINGGIR SUNGAI DENGAN PENDEKATAN <i>SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS</i> DI SRENGSENG JAKARTA BARAT,INDONESIA	Yanita Mila Ardiani Noegroho Carolina
6	PEMODELAN DEMAND PENUMPANG DI BANDAR UDARA FRANS SEDA MAUMERE	J.Dwijoko Ansusanto Alfredo Satriawan Kabupung
7	IDENTIFIKASI FAKTOR-FAKTOR YANG BERPENGARUH DALAM ESTIMASI BIAYA TIDAK LANGSUNG PROYEK KONSTRUKSI	Marinus Linggi Kala’ Lino
8	KAJIAN KECUKUPAN INFRASTRUKTUR PARIWISATA DI TORAJA PROVINSI SULAWESI SELATAN	Peter F Kaming Fritswel Ratmadi Payung
9	HARMONISASI PENGEMBANGAN KAMPONG ORGANIK BERBASIS KOMUNITAS DI KOTA YOGYAKARTA	Paulus Bawole Haryati B Sutanto Winarna
10	PERUBAHAN PERILAKU GESER TANAH LEMPUNG YANG DISTABILISASI DENGAN SEMEN OLEH PENGARUH TEMPERATUR PEMERAMAN	John Tri Hatmoko Hendra Suryadharma
11	ANALISA FAKTOR PENGARUH TENAGA KERJA TERHADAP PRODUKTIVITAS PEKERJAAN PASANGAN DINDING BATAKO	Sebastianus B. Henong Elias G Kilok Agustinus H. Pattiraja
12	IMPLEMENTASI KONSTRUKSI BERKELANJUTAN PADA PENANGANAN BANGUNAN PASCA KEBAKARAN DENGAN FIBER REINFORCED POLYMER (FRP) DAN JACKETING (STUDI KASUS PADA PASAR ‘X’ SEMARANG)	Stefanus Erik Susanto Ivan Hidayat Hermawan David Widiyanto Albertus Kriswandhono
13	PROGRAM SIMULASI WUFI-2D UNTUK PENGAMBARAN TRANSPORT PANAS PADA BANGUNAN GEDUNG (STUDI KASUS GEDUNG THOMAS AQUINAS UNIKA SOEGIJAPRANATA SEMARANG)	L.M.F. Purwanto

**JADWAL SESI PARALEL
SEMINAR NASIONAL RISET DAN TEKNOLOGI TERAPAN KE 8
(RITEKTRA VIII) 2018
UNIVERSITAS ATMA JAYA MAKASSAR**

Ruangan : T2
Konsentrasi: Teknik Sipil dan Arsitektur
Moderator : Dr. Ir. Firdaus Chaeruddin, M.S.

No	Judul Makalah	Nama Pemakalah
1	REDUKSI UKURAN MODEL UNTUK ANALISIS DINAMIK DENGAN CARA KONDENSASI DINAMIK	Yoyong Arfiadi Richard Frans
2	CRITICAL SUCCESS FACTORS (CSF) HUBUNGAN KERJA SAMA ANTARA KONTRAKTOR DENGAN PEMASOK PROYEK KONSTRUKSI: PENDEKATAN KAJIAN LITERATUR	Heru Utama
3	FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KONTRAKTOR MENGADOPSI TEKNOLOGI BETON PRACETAK	Jaka Aditya Rama Pranajaya
4	VISUALISASI DATA MEDIA SOSIAL UNTUK MEMBANGUN PETA PENGGUNAAN RUANG KOTA	Sushardjanti Felasari M. Sani Roychansyah
5	ANALISIS PROFIL LULUSAN ARSITEKTUR	Suzzana Winda Artha Mustika Yohanes Dicka Pratama R. Kristoforus Jawa Bendi
6	APLIKASI VEKTOR BEBAN PENENTU LOKASI KERUSAKAN PADA STRUKTUR PLANE STRESS	Richard Frans Yoyong Arfiadi
7	INISIASI KONSTRUKSI HIJAU UNTUK PROYEK GEDUNG DI INDONESIA	Wulfram I. Ervianto
8	PENGARUH LINGKUNGAN KERJA DAN KESEHATAN KESELAMATAN KERJA TERHADAP PRODUKTIVITAS TENAGA KERJA	Gerald Winardi Yuada Rumengan Yudith Helene Mustakim
9	KONSEP "AMONG TANI DAGANG LAYAR" TATA RUANG WILAYAH DIY DAN PEMBANGUNAN KAWASAN WISATA BAHARI	Amos Setiadi
10	PENGARUH SERBUK BATU KAPUR SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN BETON	Nelwan Rante Tondok Jonie Tanijaya Hendry Tanoto Kalangi
11	EVALUASI BIAYA DAN WAKTU DENGAN METODE EARNED VALUE ANALYSIS	Prayogo Tommy Prasetyo Stevy Thioritz Yudith Helene Mustakim
12	KEBIJAKAN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA PADA KONTRAKTOR DI DKI JAKARTA	Harijanto Setiawan Primawardani

**JADWAL SESI PARALEL
SEMINAR NASIONAL RISET DAN TEKNOLOGI TERAPAN KE 8
(RITEKTRA VIII) 2018
UNIVERSITAS ATMA JAYA MAKASSAR**

Ruangan : T3
Konsentrasi: Teknik Mesin dan Teknik Industri
Moderator : Drs. Ir. Frederik Palallo, M.T.

No	Judul Makalah	Nama Pemakalah
1	INVESTIGASI MIKROSTRUKTUR DARI BAJA YANG DISAMBUNGAN SECARA DIFFUSI ISOSTATIS	Widodo Widjaja Basuki
2	CONCEPTUAL DESIGN OF HIGH SPEED CRAFT FOR ENSURING SAFETY OF LIFE AT SEA AND HAZARDOUS COLLISION	Fred Wenehenubun
3	SISTEM ANTRIAN KANTOR PAJAK DENGAN MODEL SIMULASI (STUDI KASUS JALAN KAPTEN A. RIVAI)	Achmad Alfian
4	PERANCANGAN ALAT BANTU UNTUK MENGANGKUT KACANG KEDELAI (STUDI KASUS DI CV. Z)	Luizinho Antonio Ximenes Moreira Julius Mulyono Hadi Santosa
5	PENERAPAN METODE SUBSTITUSI METRIS PADA FISIKA PEMUAIAN DENGAN TEMPERATUR DINAMIS SEKITAR NILAI TERTENTU	Stephanus Ivan Goenawan
6	PENGUJIAN PROKSIMASI LIMBAH KULIT BIJI JAMBU MENTE HASIL PIROLISIS	Inong Oskar Andi Erwin Eka Putra Effendy Arif
7	KARAKTERISTIK TEKANAN PADA BADAN RAMPUMP DENGAN VARIASI SAMBUNGAN-T	Juanda Saroha Sihotang Dwiseno Wihadi
8	KAJIAN PEMBEBANAN STATIS PADA DESAIN PURWARUPA SASIS MOBIL LISTRIK DRIYARKARA BERBASIS APLIKASI ELEMEN HINGGA	Achilleus Hermawan Astyanto Yana Resti Yanto Stephanus Debby Adolf Baskoro Wisnu Aji Freddy Saputra Romanti
9	OPTIMASI KUAT TEKAN PAVING BLOCK DENGAN METODE RESPONSE SURFACE (STUDI KASUS : DI UD. X)	Riky Yudha Pratama Luh Juni Asrini Martinus Edy Sianto
10	ANALISIS KECACATAN PRODUK WALL TILE PADA PT. MULIA KERAMIK INDAH RAYA DENGAN MENGGUNAKAN METODE STATISTICAL PROCESS CONTROL (SPC) DAN FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) SEBAGAI UPAYA PENGENDALIAN KUALITAS	Chendrasari Wahyu Oktavia Riana Magdalena Jessica Ardelia Gotama
11	ANALYTICAL STUDY ON THE ILLUMINATION OF OFFICE TO SUPPORT HEALTHY WORKING SPACES	Fred Wenehenubun

JADWAL SESI PARALEL
SEMINAR NASIONAL RISET DAN TEKNOLOGI TERAPAN KE 8
(RITEKTRA VIII) 2018
UNIVERSITAS ATMA JAYA MAKASSAR

Ruangan : T4
Konsentrasi: Teknik Elektro
Moderator : Ir. Syahir Mahmud, M.T.

No	Judul Makalah	Nama Pemakalah
1	RANCANG BANGUN SISTEM HIDROPONIK OTOMATIS	Andrew Pranata Melisa Mulyadi Harlianto Tanudjaja
2	SISTEM PENGENDALI LEVEL AIR DENGAN ALGORITMA PROPORTIONAL, INTEGRAL, DERRIVATIVE BERBASIS SUPERVISORY, CONTROL, AND DATA ACQUISITION	Brian Wijaya Melisa Mulyadi
3	SISTEM PENGAMANAN PINTU RUMAH DENGAN RFID BERBASIS WIRELESS ESP8266	Ryan Laksmana Singgeta Pinrolinvic D.K. Manembu Mark D. Rembet
4	PEMBELAJARAN SCADA BAGI MAHASISWA TEKNIK ELEKTRO UNTUK MENJAWAB TANTANGAN DAN PELUANG REVOLUSI INDUSTRI 4.0	Th. Prima Ari Setiyani Martanto
5	RANCANG BANGUN SISTEM TENAGA SURYA DENGAN BATTERY CHARGE CONTROLLER HYBRID	Rasional Sitepu Andrew Joewono Peter R Angka Andrian T
6	RANCANG BANGUN MESIN PENGERING BUAH PINANG TENAGA SURYA HYBRID HEMAT ENERGI	Andrew Joewono Julius Mulyono Fian Agustino W Laurentius Nico W Ahmad Hasan K
7	UPLINK PADA NON ORTHOGONAL MULTIPLE ACCESS	Renaldo Liojaya Theresia Ghozali
8	UNJUK KERJA KECEPATAN EKSEKUSI PADA DEEP CONVOLUTIONAL NETWORK	Wiwien Widyastuti Budi Darmawan
9	RANCANG BANGUN MESIN PENGGORENG KERUPUK SINGKONG OTOMATIS-HEMAT ENERGI	Andrew Joewono Fian Agustino W Laurentius Nico W Ahmad Hasan K Dewi Wulandari
10	PENERAPAN FUZZY C-MEAN UNTUK PEMETAAN PRESTASI AKADEMIK MAHASISWA BERDASARKAN TEST POTENSI AKADEMIK PADA PENERIMAAN CALON MAHASISWA	Tjendro Vincent Suhartono Romi Satrio Wahono
11	PENGAMATAN BADAI CUACA UNTUK MENDUKUNG AKTIVITAS PELUNCURAN SATELIT	Wayan Suparta
12	MONITOR SISA CAIRAN INFUS INTRAVENA DENGAN PENIMBANGAN BERAT	Hartono Pranjoto Lanny Agustine Yesiana D. W. Werdani Diana Lestariningsih B. Brian Teja Pahar
13	ANALISIS TAHANAN KONTAK PERMUKAAN PADA PENGHANTAR TEMBAGA DAN TEMBAGA BERLAPIS TIMAH	Syahir Mahmud Limbran Sampebatu
14	STUDI ALIRAN DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN SULAWESI SELATAN	Jeremias Leda Simon Patabang

**JADWAL SESI PARALEL
SEMINAR NASIONAL RISET DAN TEKNOLOGI TERAPAN KE 8
(RITEKTRA VIII) 2018
UNIVERSITAS ATMA JAYA MAKASSAR**

Ruangan : T5
Konsentrasi: Informatika
Moderator : Hans Marwi, S.Kom., M.I.T.

No	Judul Makalah	Nama Pemakalah
1	IMPLEMENTASI ALGORITMA K-MEANS DAN J48 DALAM MENGIDENTIFIKASI DIABETES INSIPIDUS PADA USIA PRODUKTIF: MAHASISWA	Apriandy Angdresey Jeniver Matruty
2	PERBANDINGAN METODE NEWTON-RAPHSON MODIFIKASI DAN METODE SECANT MODIFIKASI DALAM PENENTUAN AKAR PERSAMAAN	Patrisius Batarius
3	REKOMENDASI MAKANAN DENGAN PENDEKATAN TECHNIQUE FOR ORDER PERFORMANCE BY SIMILARITY TO IDEAL SOLUTION (TOPSIS)	Robertus Adi Nugroho
4	DEVELOP SMART CITY GOVERNANCE THROUGH SOCIETY PERCEPTION CHANGE BASED ON GOOGLE FORM APPLICATION	N. Tri Suswanto Saptadi Ferdinandus Sampe
5	PENERAPAN TEKNIK PEWARNAAN SIMPUL GRAF PADA PERMASALAHAN PENJADWALAN KULIAH	Theresia Sunarni R. Kristoforus Jawa Bendi Achmad Alfian
6	RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION DENGAN AKSES MULTI-LEVEL BERBASIS WEB	Pinrolinvic Manembu Debby Paseru
7	SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS PEMETAAN PASAR TRADISIONAL DI KOTA KUPANG BERBASIS WEB	Jetri Nabuasa Natalia Magdalena R. Mamulak
8	PENGUNAAN FUNGSI HEURISTIK SEDERHANA PADA NON-PLAYER CHARACTER PERMAINAN LUDO	R. Kristoforus Jawa Bendi Amelia Sibagariang
9	APLIKASI PENENTUAN JALUR TERDEKAT KE LOKASI ATM MENGGUNAKAN ALGORITMA DIJKSTRA	Gledys F Sigarlaki Debby Paseru Thomas Suwanto
10	APLIKASI WEB GAMIFIKASI MATA KULIAH	Escobar Sumampouw Thomas Suwanto Rinaldi Munir
11	IMPLEMENTASI MODEL GAMIFIKASI DENGAN MDA FRAMEWORK PADA APLIKASI PENGELOLAAN MATA KULIAH	Michael George Sumampouw
12	PENGELOMPOKAN TINGKAT KRIMINALITAS DI KOTA YOGYAKARTA DENGAN MENGGUNAKAN METODE CLUSTERING	Eduardus Hardika Sandy Atmaja
13	SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN PEMILIHAN PROGRAM STUDI DI UNIVERSITAS KATOLIK DE LA SALLE MANADO MENGGUNAKAN METODE AHP	Vivie Deyby Kumenap

**JADWAL SESI PARALEL
SEMINAR NASIONAL RISET DAN TEKNOLOGI TERAPAN KE 8
(RITEKTRA VIII) 2018
UNIVERSITAS ATMA JAYA MAKASSAR**

Ruangan : RB

Konsentrasi: Sains dan Teknologi, Teknik Mesin, Teknik Industri

Moderator : Dr. Ir. Cherly Tanamal, M.P.

No	Judul Makalah	Nama Pemakalah
1	PIROLISIS PLASTIK MENJADI BAHAN BAKAR KENDARAAN BERMOTOR	Setiyadi Celerina Ronny A
2	PENGEMBANGAN MODEL VERTICAL CONSTRUCTED WETLAND SEBAGAI ALTERNATIF SISTEM PENGOLAHAN LIMBAH DOMESTIK PERMUKIMAN KAMPUNG KOTA	Haryati Sutanto Paulus Bawole
3	ANALISIS DATA KETAHANAN HIDUP DENGAN MODEL REGRESI COX PROPORSIONAL HAZARDS	Etri Amiani Ig. Aris Dwiatmoko
4	SIMULASI NUMERIS GELOMBANG PERIODIK DI PANTAI BERTOPOGRAFI MIRING MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ANUGA	Sudi Mungkasi
5	NANO ADSORBEN DARI BIOPOLIMER SELULOSA SEBAGAI PENYERAP TEMBAGA DALAM AIR	Shella Permatasari Santoso
6	PENYELESAIAN MASALAH PENGEPAKAN BARANG DENGAN ALGORITMA GENETIKA	Christina Eka Septyaningsih Hartono
7	RANCANG BANGUN PEMBUAT BENANG PLA	Djoko Setyanto Marten Darmawan Charvin Chandra
8	PENERAPAN STRATEGI PERAWATAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) PADA MESIN CONVERSION (STUDI KASUS PT. XYZ)	Liberty Sopaheluwakan Hadi Santosa Ivan Gunawan
9	EVALUASI DAN PERBAIKAN SISTEM PELAYANAN LOKET BADAN PENYELENGGARA JAMINAN SOSIAL (BPJS) CABANG SURABAYA MENGGUNAKAN SIMULASI	Agatha Nusamaris Keban Ig. Jaka Mulyana Luh Juni Asrini
10	PENGUNAAN METODE KANO UNTUK MANGANALISIS KUALITAS LAYANAN BOOKING HOTEL MELALUI TRAVELOKA	Wibawa Prasetya Debby Karini
11	USULAN PENGUKURAN PRODUKTIVITAS DENGAN METODE OBJECTIVE MATRIX PADA PT. XYZ	Riana Magdalena Wibawa Prasetya Steffi Ratnadewi

DAFTAR ISI

SAMPUL JUDUL	i
SUSUNAN DEWAN REDAKSI	ii
KATA PENGANTAR	iii
SAMBUTAN KETUA PANITIA RITEKTRA 8	iv
SUSUNAN ACARA RITEKTRA 8	v
JADWAL SESI PARALEL RUANGAN T1	
Konsentrasi: Teknik Sipil dan Arsitektur	vi
JADWAL SESI PARALEL RUANGAN T2	
Konsentrasi: Teknik Sipil dan Arsitektur	vii
JADWAL SESI PARALEL RUANGAN T3	
Konsentrasi: Teknik Mesin dan Teknik Industri.....	viii
JADWAL SESI PARALEL RUANGAN T4	
Konsentrasi: Teknik Elektro	ix
JADWAL SESI PARALEL RUANGAN T5	
Konsentrasi: Informatika.....	x
JADWAL SESI PARALEL RUANGAN RB	
Konsentrasi: Sains dan Teknologi, Teknik Mesin, Teknik Industri	xi
DAFTAR ISI	xii

KEYNOTES SPEAKERS

**REMOVAL OF HAZARDOUS SUBSTANCES FROM WATER AND
WASTEWATER USING POLYMET BASED NANOCOMPOSITE AS
ADSORBENT**

Felicia Edi Soetaredjo KS-1

**INNOVATION, SCIENCE AND TECHNOLOGY
FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION IN A DEVELOPING
MARITIME COUNTRY**

Emilia.L.C. van Egmond KS-7

POWER QUALITY IN MODERN HEALTH FACILITY

Rusdy Hartungi KS-26

KELOMPOK KONSENTRASI TEKNIK SIPIL (TS)

PENGUNAAN ABU SERABUT KELAPA DENGAN PEMBAKARAN 8000 DAN 10000 CELCIUS SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN PADA BETON

Ade Lisantono dan Jap Yovita Natalie

TS-1

PEMODELAN DEMAND PENUMPANG DI BANDAR UDARA FRANS SEDA MAUMERE

J.Dwijoko Ansusanto dan Alfrendo Satriawan Kabupung

TS-7

KEBIJAKAN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA PADA KONTRAKTOR DI DKI JAKARTA

Harijanto Setiawan dan Primawardani

TS-13

CRITICAL SUCCESS FACTORS (CSF) HUBUNGAN KERJA SAMA ANTARA KONTRAKTOR DENGAN PEMASOK PROYEK KONSTRUKSI:

PENDEKATAN KAJIAN LITERATUR

Heru Utama

TS-21

FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KONTRAKTOR MENGADOPSI TEKNOLOGI BETON PRACETAK

Jaka Aditya Rama Pranajaya

TS-31

PENGARUH SERBUK BATU KAPUR SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN BETON

Nelwan Rante Tondok, Jonie Tanijaya, dan Hendry Tanoto Kalangi

TS-41

PERILAKU GESER TANAH YANG DISTABILISASI DENGAN KAPUR - ABU SEKAM PADI DAN TULANGAN SERAT POLYESTER

Hendra Suryadharma dan John Tri Hatmoko

TS-48

PERUBAHAN PERILAKU GESER TANAH LEMPUNG YANG DISTABILISASI DENGAN SEMEN OLEH PENGARUH TEMPERATUR PEMERAMAN

John Tri Hatmoko dan Hendra Suryadharma

TS-58

APLIKASI VEKTOR BEBAN PENENTU LOKASI KERUSAKAN PADA STRUKTUR PLANE STRESS

Richard Frans dan Yoyong Arfiadi

TS-68

ANALISA FAKTOR PENGARUH TENAGA KERJA TERHADAP PRODUKTIVITAS PEKERJAAN PASANGAN DINDING BATAKO

Sebastianus B. Henong, Elias G Kilok, dan Agustinus H. Pattiraja

TS-76

IMPLEMENTASI KONSTRUKSI BERKELANJUTAN PADA PENANGANAN BANGUNAN PASCA KEBAKARAN DENGAN FIBER REINFORCED POLYMER (FRP) DAN JACKETING (Studi Kasus Pada Pasar 'X' Semarang)

Stefanus Erik Susanto, Ivan Hidayat, Hermawan, David Widiyanto, dan Albertus Kriswandhono

TS-83

INISIASI KONSTRUKSI HIJAU UNTUK PROYEK GEDUNG DI INDONESIA

Wulfram I. Ervianto

TS-92

KAJIAN KECUKUPAN INFRASTRUKTUR PARIWISATA DI TORAJA PROVINSI SULAWESI SELATAN	
Peter F Kaming dan Fritswel Ratmadi Payung	TS-98
IDENTIFIKASI FAKTOR-FAKTOR YANG BERPENGARUH DALAM ESTIMASI BIAYA TIDAK LANGSUNG PROYEK KONSTRUKSI	
Marinus Linggi Kala' Lino	TS-108
PENGARUH PENAMBAHAN KAPUR PADA PENINGKATAN KUAT TEKAN BATA TANAH LIAT KAPUR PRESS	
Kristiana Bebhe dan Richardus Daton	TS-116
REDUKSI UKURAN MODEL UNTUK ANALISIS DINAMIK DENGAN CARA KONDENSASI DINAMIK	
Yoyong Arfiadi dan Richard Frans	TS-123
PENGARUH LINGKUNGAN KERJA DAN KESEHATAN KESELAMATAN KERJA TERHADAP PRODUKTIVITAS TENAGA KERJA	
Gerald Winardi, Yuada Rumengan, dan Yudith Helene Mustakim	TS-133
PROGRAM SIMULASI WUFI-2D UNTUK PENGGAMBARAN TRANSPORT PANAS PADA BANGUNAN GEDUNG (Studi Kasus Gedung Thomas Aquinas Unika Soegijapranata Semarang)	
L.M.F. Purwanto	TS-141
 <u>KELOMPOK KONSENTRASI TEKNIK ARSITEKTUR (TA)</u>	
PERANCANGAN PERMUKIMAN PADAT PENDUDUK PINGGIR SUNGAI DENGAN PENDEKATAN SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS DI SRENGSENG JAKARTA BARAT,INDONESIA	
Yanita Mila Ardiani, Noegroho, dan Carolina	TA-1
ANALISIS PROFIL LULUSAN ARSITEKTUR	
Suzzana Winda Artha Mustika, Yohanes Dicka Pratama, dan R. Kristoforus Jawa Bendi	TA-10
VISUALISASI DATA MEDIA SOSIAL UNTUK MEMBANGUN PETA PENGUNAAN RUANG KOTA	
Sushardjanti Felasari dan M. Sani Roychansyah	TA-22
KEBERLANJUTAN DAN PERUBAHAN” ORIENTASI PERMUKIMAN KAJIAN FENOMENA PERMUKIMAN AIRMATA DI BANTARAN KALI KACA KOTA KUPANG	
Reginaldo Christophori Lake	TA-28
HARMONISASI PENGEMBANGAN KAMPONG ORGANIK BERBASIS KOMUNITAS DI KOTA YOGYAKARTA	
Paulus Bawole, Haryati B Sutanto, dan Winarna	TA-37
KONSEP ”AMONG TANI DAGANG LAYAR” TATA RUANG WILAYAH DIY DAN PEMBANGUNAN KAWASAN WISATA BAHARI	
Amos Setiadi	TA-43

KELOMPOK KONSENTRASI TEKNIK MESIN (TM)

KAJIAN PEMBEBANAN STATIS PADA DESAIN PURWARUPA SASIS MOBIL LISTRIK DRIYARKARA BERBASIS APLIKASI ELEMEN HINGGA

Achilleus Hermawan Astyanto, Yana Resti Yanto, Stephanus Debby, Adolf Baskoro Wisnu Aji, dan Freddy Saputra Romanti

TM-1

CONCEPTUAL DESIGN OF HIGH SPEED CRAFT FOR ENSURING SAFETY OF LIFE AT SEA AND HAZARDOUS COLLISION

Fred Wenehenubun

TM-8

ANALYTICAL STUDY ON THE ILLUMINATION OF OFFICE TO SUPPORT HEALTHY WORKING SPACES

Fred Wenehenubun

TM-17

PENGUJIAN PROKSIMASI LIMBAH KULIT BIJI JAMBU MENTE HASIL PIROLISIS

Inong Oskar, Andi Erwin Eka Putra, dan Effendy Arif

TM-28

RANCANG BANGUN PEMBUAT BENANG PLA

Djoko Setyanto, Marten Darmawan, dan Charvin Chandra

TM-32

KARAKTERISTIK TEKANAN PADA BADAN RAMPUMP DENGAN VARIASI SAMBUNGAN-T

Juanda Saroha Sihotang dan Dwiseno Wihadi

TM-39

INVESTIGASI MIKROSTRUKTUR DARI BAJA YANG DISAMBUNGAN SECARA DIFFUSI ISOSTATIS

Widodo Widjaja Basuki

TM-45

KELOMPOK KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRO (TE)

RANCANG BANGUN MESIN PENGERING BUAH PINANG TENAGA SURYA HYBRID HEMAT ENERGI

Andrew Joewono, Julius Mulyono, Fian Agustino W, Laurentius Nico W, dan Ahmad Hasan K

TE-1

RANCANG BANGUN MESIN PENGGORENG KERUPUK SINGKONG OTOMATIS-HEMAT ENERGI

Andrew Joewono, Fian Agustino W, Laurentius Nico W, Ahmad Hasan K, dan Dewi Wulandari

TE-8

RANCANG BANGUN SISTEM TENAGA SURYA DENGAN BATTERY CHARGE CONTROLLER HYBRID

Andrew Joewono, Rasional Sitepu, Peter R Angka, dan Andrian T

TE-21

RANCANG BANGUN SISTEM HIDROPONIK OTOMATIS

Andrew Pranata, Melisa Mulyadi, dan Harlianto Tanudjaja

TE-31

MONITOR SISA CAIRAN INFUS INTRAVENA DENGAN PENIMBANGAN BERAT

Hartono Pranjoto, Lanny Agustine, Yesiana D. W. Werdani, Diana Lestariningsih, dan B. Brian Teja Pahar

TE-39

SISTEM PENGENDALI LEVEL AIR DENGAN ALGORITMA PROPORTIONAL, INTEGRAL, DERRIVATIVE BERBASIS SUPERVISORY, CONTROL, AND DATA ACQUISITION Brian Wijaya dan Melisa Mulyadi	TE-48
STUDI ALIRAN DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN SULAWESI SELATAN Jeremias Leda dan Simon Patabang	TE-57
PEMBELAJARAN SCADA BAGI MAHASISWA TEKNIK ELEKTRO UNTUK MENJAWAB TANTANGAN DAN PELUANG REVOLUSI INDUSTRI 4.0 Th. Prima Ari Setiyani dan Martanto	TE-71
UPLINK PADA NON ORTHOGONAL MULTIPLE ACCESS Renaldo Liojaya dan Theresia Ghozali	TE-80
SISTEM PENGAMANAN PINTU RUMAH DENGAN RFID BERBASIS WIRELESS ESP8266 Ryan Laksmana Singgeta, Pinrolinvic D.K. Manembu, dan Mark D. Rembet	TE-87
PENERAPAN FUZZY C-MEAN UNTUK PEMETAAN PRESTASI AKADEMIK MAHASISWA BERDASARKAN TEST POTENSI AKADEMIK PADA PENERIMAAN CALON MAHASISWA Tjendro, Vincent Suhartono, dan Romi Satrio Wahono	TE-97
PENGAMATAN BADAI CUACA UNTUK MENDUKUNG AKTIVITAS PELUNCURAN SATELIT Wayan Suparta	TE-105
UNJUK KERJA KECEPATAN EKSEKUSI PADA DEEP CONVOLUTIONAL NETWORK Wiwien Widyastuti dan Budi Darmawan	TE-112
ANALISIS TAHANAN KONTAK PERMUKAAN PADA PENGHANTAR TEMBAGA DAN TEMBAGA BERLAPIS TIMAH Syahir Mahmud dan Limbran Sampebatu	TE-117

KELOMPOK KONSENTRASI TEKNIK INDUSTRI (TI)

SISTEM ANTRIAN KANTOR PAJAK DENGAN MODEL SIMULASI (STUDI KASUS JALAN KAPTEN A. RIVAI) Achmad Alfian	TI-1
ANALISIS KECACATAN PRODUK WALL TILE PADA PT. MULIA KERAMIK INDAHRAJA DENGAN MENGGUNAKAN METODE STATISTICAL PROCESS CONTROL (SPC) DAN FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) SEBAGAI UPAYA PENGENDALIAN KUALITAS Chendrasari Wahyu Oktavia, Riana Magdalena, dan Jessica Ardelia Gotama	TI-14
PENGUNAAN METODE KANO UNTUK MANGANALISIS KUALITAS LAYANAN BOOKING HOTEL MELALUI TRAVELOKA Wibawa Prasetya dan Debby Karini	TI-25

**OPTIMASI KUAT TEKAN PAVING BLOCK DENGAN METODE
RESPONSE SURFACE
(STUDI KASUS : DI UD. X)**

Riky Yudha Pratama, Luh Juni Asrini, dan Martinus Edy Sianto

TI-34

**PENERAPAN METODE SUBSTITUSI METRIS
PADA FISIKA PEMUAIAN DENGAN TEMPERATUR DINAMIS
SEKITAR NILAI TERTENTU**

Stephanus Ivan Goenawan

TI-44

**PENERAPAN STRATEGI PERAWATAN DENGAN MENGGUNAKAN
METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) PADA
MESIN CONVERSION (STUDI KASUS PT. XYZ)**

Liberty Sopaheluwakan, Hadi Santosa, dan Ivan Gunawan

TI-49

**EVALUASI DAN PERBAIKAN SISTEM PELAYANAN LOKET
BADAN PENYELENGGARA JAMINAN SOSIAL (BPJS) CABANG
SURABAYA MENGGUNAKAN SIMULASI**

Agatha Nusamaris Keban, Ig. Jaka Mulyana, dan Luh Juni Asrini

TI-59

**USULAN PENGUKURAN PRODUKTIVITAS DENGAN METODE
OBJECTIVE MATRIX PADA PT. XYZ**

Riana Magdalena, Wibawa Prasetya, dan Steffi Ratnadewi

TI-65

**PERANCANGAN ALAT BANTU UNTUK MENGANGKUT KACANG
KEDELAI
(STUDI KASUS DI CV. Z)**

Luizinho Antonio Ximenes Moreira, Julius Mulyono, dan Hadi Santosa

TI-73

KELOMPOK KONSENTRASI INFORMATIKA (IK)

**IMPLEMENTASI ALGORITMA K-MEANS DAN J48 DALAM
MENGIDENTIFIKASI DIABETES INSIPIDUS PADA USIA
PRODUKTIF: MAHASISWA**

Apriandy Angdresey dan Jeniver Matruty

IK-1

**PENGELOMPOKAN TINGKAT KRIMINALITAS DI KOTA
YOGYAKARTA DENGAN MENGGUNAKAN METODE CLUSTERING**

Eduardus Hardika Sandy Atmaja

IK-7

**APLIKASI PENENTUAN JALUR TERDEKAT KE LOKASI ATM
MENGGUNAKAN ALGORITMA DIJKSTRA**

Gledys F Sigarlaki, Debby Paseru, dan Thomas Suwanto

IK-16

**SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS PEMETAAN PASAR
TRADISIONAL DI KOTA KUPANG BERBASIS WEB**

Jetri Nabuasa dan Natalia Magdalena R. Mamulak

IK-24

**PENGUNAAN FUNGSI HEURISTIK SEDERHANA PADA NON-
PLAYER CHARACTER PERMAINAN LUDO**

R. Kristoforus Jawa Bendi dan Amelia Sibagariang

IK-31

IMPLEMENTASI MODEL GAMIFIKASI DENGAN MDA FRAMEWORK PADA APLIKASI PENGELOLAAN MATA KULIAH Michael George Sumampouw	IK-42
PERBANDINGAN METODE NEWTON-RAPHSON MODIFIKASI DAN METODE SECANT MODIFIKASI DALAM PENENTUAN AKAR PERSAMAAN Patrisius Batarius	IK-53
RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION DENGAN AKSES MULTI-LEVEL BERBASIS WEB Pinrolinvic Manembu dan Debby Paseru	IK-64
REKOMENDASI MAKANAN DENGAN PENDEKATAN TECHNIQUE FOR ORDER PERFORMANCE BY SIMILARITY TO IDEAL SOLUTION (TOPSIS) Robertus Adi Nugroho	IK-72
PENERAPAN TEKNIK PEWARNAAN SIMPUL GRAF PADA PERMASALAHAN PENJADWALAN KULIAH Theresia Sunarni, R. Kristoforus Jawa Bendi, dan Achmad Alfian	IK-83
APLIKASI WEB GAMIFIKASI MATA KULIAH Escobar Sumampouw, Thomas Suwanto, dan Rinaldi Munir	IK-92
DEVELOP SMART CITY GOVERNANCE THROUGH SOCIETY PERCEPTION CHANGE BASED ON GOOGLE FORM APPLICATION N. Tri Suswanto Saptadi dan Ferdinandus Sampe	IK-101
SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN PEMILIHAN PROGRAM STUDI DI UNIVERSITAS KATOLIK DE LA SALLE MANADO MENGUNAKAN METODE AHP Vivie Deyby Kumenap	IK-111

KELOMPOK KONSENTRASI SAINS DAN TEKNOLOGI

NANO ADSORBEN DARI BIOPOLIMER SELULOSA SEBAGAI PENYERAP TEMBAGA DALAM AIR Shella Permatasari Santoso	ST-1
PENGEMBANGAN MODEL VERTICAL CONSTRUCTED WETLAND SEBAGAI ALTERNATIF SISTEM PENGOLAHAN LIMBAH DOMESTIK PERMUKIMAN KAMPUNG KOTA Haryati Sutanto dan Paulus Bawole	ST-8
ANALISIS DATA KETAHANAN HIDUP DENGAN MODEL REGRESI COX PROPORSIONAL HAZARDS Etri Amiani dan Ig. Aris Dwiattmoko	ST-17
PENYELESAIAN MASALAH PENGEPAKAN BARANG DENGAN ALGORITMA GENETIKA Christina Eka Septyaningsih dan Hartono	ST-25

**PIROLISIS PLASTIK MENJADI BAHAN BAKAR KENDARAAN
BERMOTOR**

Setiyadi Celerina dan Ronny A

ST-35

**SIMULASI NUMERIS GELOMBANG PERIODIK DI PANTAI
BERTOPOGRAFI MIRING MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK
ANUGA**

Sudi Mungkasi

ST-41

Keynote Speaker:
Felicia Edi Soetaredjo



Removal of Hazardous Substances From Water and Wastewater Using Polymet Based Nanocomposite As Adsorbent
Felicia Edi Soetaredjo
Faculty of Engineering
Widya Mandala Catholic University Surabaya

Hazardous Contaminants

- Examples:
 - Heavy metals
 - Dyes
 - Organic chemicals
 - Biocides
- Sources: industrial and mining activities
- Harmful to human and other living species

Wastewater Treatment

- Various methods for the removal of hazardous substances from water and waste-water:
 - Coagulation-flocculation
 - Ion exchange
 - Aerobic and aerobic digestion
 - Membrane filtration
 - Chemical precipitation, chemical oxidation, advanced oxidation
 - Adsorption
 - etc
- Some methods gives high removal efficiency for high concentration pollutant, while others for low to medium concentration.
- Most of these methods have high investment and operational costs, except adsorption.

Adsorption of Heavy Metals

- The most efficient and low cost method
- The effectiveness of the process removal strongly depends on the correct choice of the adsorbent
- Examples:
 - Activated carbon → very effective but expensive
 - Biosorbent
 - Clay materials
 - Polymer nano-composites materials

Adsorption

- Physical vs chemical adsorption:
 - Physical at low temperature or the pressure of gas sufficiently high. Chemical adsorption higher temperature.
 - Chemical adsorption slower process than physical adsorption.
 - Chemical adsorption need energy of activation.

1. Encyclopaedia Britannica

Adsorbent criteria

For large scale process, the following criteria should meet:

- Have comparable or higher adsorption capacity than commercially available adsorbents.
- Available in large quantities and stable adsorption characteristics.
- Little economic value.
- Can be regenerated easily without losing its adsorption capability.
- Consistently produces high removal efficiency.
- Environmental friendly.

Adsorption of Heavy Metals

- Significant variables in the adsorption of heavy metals:
 - Temperature – the influence depend on the type of adsorption
 - pH – surface charge varies with the pH of the solution.
 - $\text{pH} > \text{pH}_{\text{PZC}}$ → the surface of adsorbent has negative charge, electrostatic interaction between the surface of the adsorbent and heavy metal ions → uptake of heavy metals increase.
 - $\text{pH} < \text{pH}_{\text{PZC}}$ → the surface of adsorbent has positive charge, repulsive interaction → adsorption decreased.
 - pH influence the solution chemistry of heavy metals (complexation, precipitation, hydrolysis, etc.)
 - Initial concentration
 - The presence of other compounds

Adsorption Equilibrium Studies (5)

- Freundlich Isotherm

$$q_e = K_f C_e^{1/n}$$
 - Two parameters, empirical equation.
 - K_f represent the Freundlich adsorption capacity.
 - n is the heterogeneity of the system → For the heterogeneous system, the value of parameter n usually between 1 to 10. If parameter n is unity, the Freundlich isotherm becomes linear, the larger the value of this parameter the isotherm becomes more nonlinear as its behavior deviates further away from the linear isotherm.

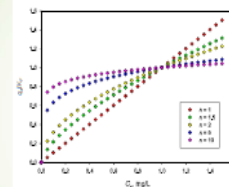
Adsorption Equilibrium Studies (1)

Adsorption equilibria of pure components are the most important information in the adsorption process to understand the capability of the adsorbents to adsorb certain component

- Langmuir Isotherm

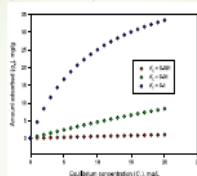
$$q_e = q_{\text{max}} \frac{K_L C_e}{1 + K_L C_e}$$
 - Two parameters, fundamental equation, based on the kinetic view of the point of the adsorption on the flat surface.
 - q_{max} represent the adsorption capacity of adsorbent towards an adsorbate.
 - K_L is affinity constant → how strong adsorbates molecules are attracted onto the surface of the adsorbent. Equilibrium condition will be reached faster at a high value of K_L
 - At low concentration, this equation reduce to Henry law: $q_e = q_{\text{max}} K_L C_e$
 - At high equilibrium concentration, this equation can be written as $q_e = q_{\text{max}}$

Adsorption Equilibrium Studies (6)



- At a high value of n , the isotherm becomes rectangular, and the adsorption becomes irreversible (chemisorption) Physical adsorption: $T \uparrow \rightarrow$ the amount adsorbed \downarrow
- The lack of Henry law and finite saturation limit makes this equation only valid at a narrow range of equilibrium concentration

Adsorption Equilibrium Studies (2)



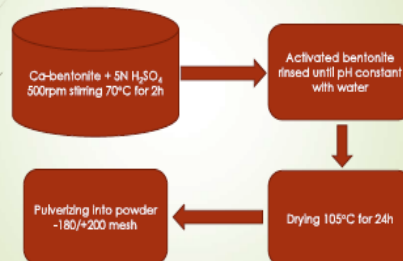
- Parameters q_{max} and K_L are a function of temperature
- Physical adsorption: $T \uparrow \rightarrow$ the amount adsorbed \downarrow
- Chemisorption: $T \uparrow \rightarrow$ the amount adsorbed \uparrow

Adsorption Kinetic Studies

- One of the most crucial factors in the design of adsorption system is the ability to determine the rate of the adsorption process.
- The most widely used kinetic models to represent the adsorption kinetic data of various hazardous materials onto polymeric-based nanocomposites are pseudo first and pseudo second order equations

Rarasaponin-bentonite-alginate Composite With Sponge-like Structure

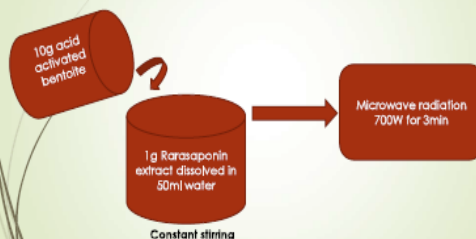
Procedure: Bentonite Activation



Introduction

- Bentonite and its modified forms have large BET value due to its layered structure.
- The layered structure and surface area of bentonite can be modified easily to increase the affinity of the adsorbents that can be employed for the treatment of various pollutants.
- Sapindus rarak DC or rarasaponin (natural surfactant) → environmental friendly surfactant.
- Modification of bentonite to increase its adsorption capacity was also conducted using natural polymer (sodium alginate) as a supporting medium.
- Impregnation with inorganic acids is the easiest and cheapest method to increase the adsorption capacity of bentonite. Acid-activated bentonite is an efficient adsorbent for the removal of certain organic pollutants.

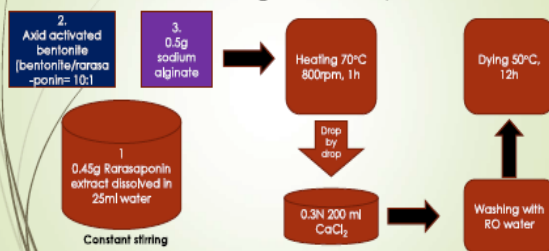
Procedure: Rarasaponin-Bentonite Synthesis

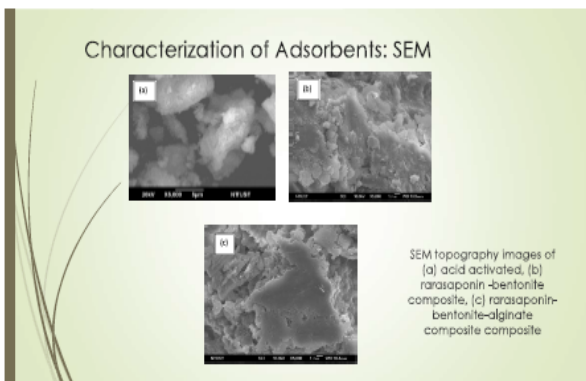
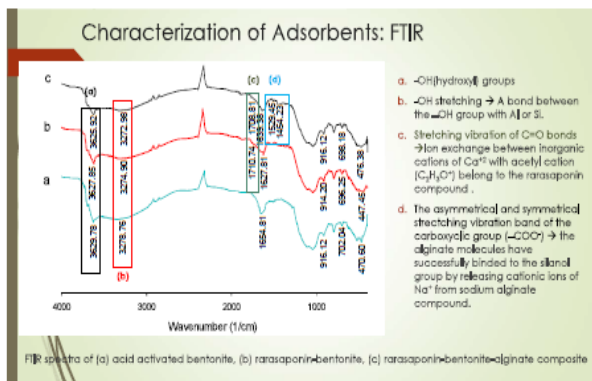


Rarasaponin-bentonite-alginate Composite

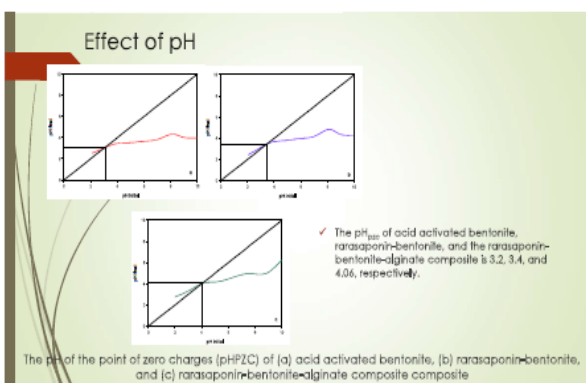
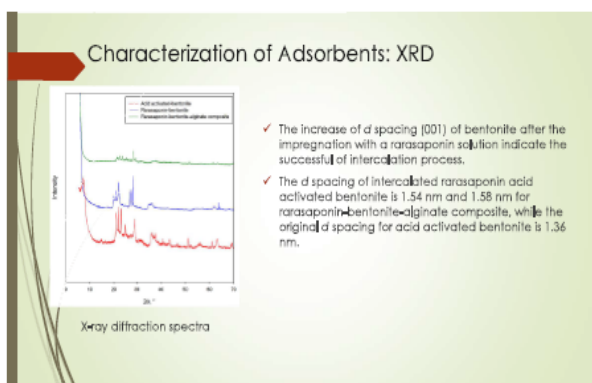
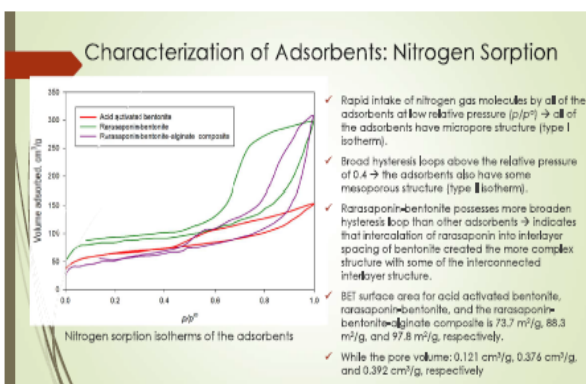
- The nanocomposite consists of acid activated bentonite, sodium alginate, and rarasaponin as a natural surfactant.
- Crystal violet was employed as the model of organic dye pollutant.

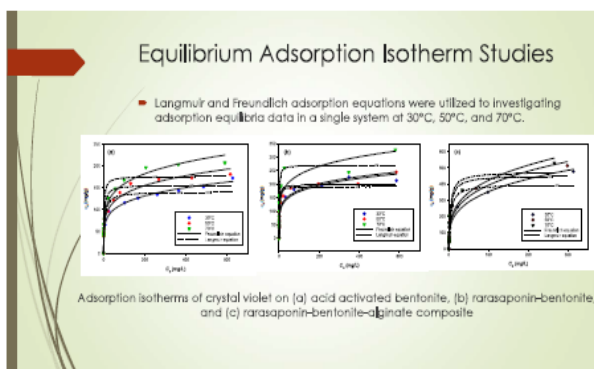
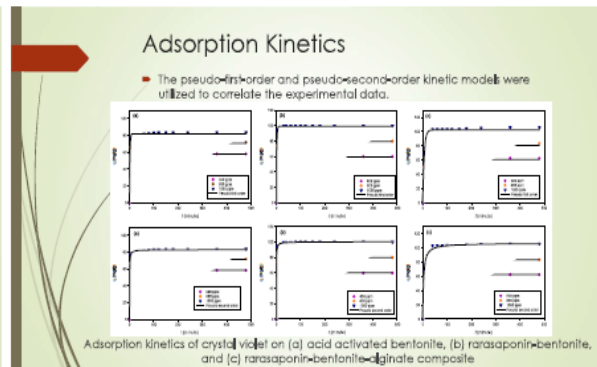
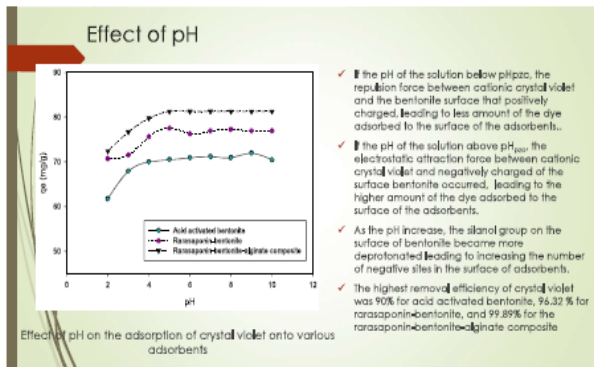
Procedure: Rarasaponin-Bentonite Alginate Composite





Functional group	Wavenumber (1/cm)		
	Acid activated bentonite	Rarasaponin-bentonite	rarasaponin-bentonite-alginate composite
-OH stretching in the hydroxyl group	3629.78	3627.85	3625.92
-OH stretch of (Al or Si)-OH group	3278.76	3274.90	3272.98
-OH bending of H_2O at interlayer bentonite for adsorbed	1654.81	1627.81	1639.38
Al-Al-OH bend	916.12	914.20	916.12
Al-O-Si bend	702.04	696.25	698.18
Si-O-Si bend	470.60	447.45	476.38
C=O stretch ($\text{C}_2\text{H}_3\text{O}^+$)	-	1710.74	1708.81
COO- asymmetrical stretching of alginate	-	-	1529.45
COO- symmetrical stretching of alginate	-	-	1454.23





Adsorption Kinetics

Initial MB concentration (ppm)	Pseudo first Order			Pseudo second order		
	k' (min ⁻¹)	q_e (mg/g)	R^2	k_2 (mg/g ² min ⁻¹)	q_e (mg/g)	R^2
Acid activated-bentonite						
400	0.4831	57.8842	0.9990	0.0385	58.3945	0.9998
800	0.5148	70.9444	0.9963	0.0291	71.4684	0.9993
1000	0.5569	82.2333	0.9944	0.0273	83.0382	0.9978
Rarasaponin-bentonite						
400	0.4942	59.4220	0.9984	0.0353	60.1485	0.9998
800	0.5190	79.4548	0.9982	0.0287	80.1334	0.9998
1000	0.5630	99.3535	0.9977	0.0267	100.1302	0.9996
Rarasaponin-bentonite-alginate composite						
400	0.1361	60.7381	0.9716	0.0037	63.7010	0.9933
800	0.1481	80.8577	0.9832	0.0035	84.3589	0.9994
1000	0.1711	102.1644	0.9650	0.0029	106.4786	0.9926

- Parameter k' of the pseudo-first-order could not capture this phenomenon → As the initial concentration increase, the time required to achieve equilibrium become longer, and the value of k' should smaller.
- The pseudo-second-order gave the correct prediction on the value of time scaling factor k_2 , the value of k_2 decreases with the increase of initial concentration.

Equilibrium Adsorption Isotherm Studies

Adsorbent	T (°C)	Langmuir Parameters				Freundlich Parameters			
		q_m (mg/g)	K_L (L/mg)	R_L	R^2	K_F (mg/L) ^{1/n}	n	R^2	
Acid activated bentonite	30	141.0932	0.1766	0.02703	0.8752	46.5303	3.1009	0.9929	
	50	156.7306	0.2971	0.02419	0.8971	33.0873	3.1140	0.9820	
	70	176.6300	0.4476	0.020278	0.8706	44.7932	3.1256	0.9815	
Rarasaponin-bentonite	30	191.3284	0.7214	0.02073	0.9336	74.6800	3.4973	0.9540	
	50	199.0631	0.7223	0.02173	0.9359	78.3167	3.5952	0.9406	
	70	270.9195	0.7923	0.020158	0.9520	102.1650	3.6031	0.9421	
Rarasaponin-bentonite-alginate composite	30	398.5130	0.3300	0.00936	0.9242	93.7641	3.4687	0.9481	
	50	454.2653	0.2334	0.00933	0.9325	104.8057	3.4873	0.9247	
	70	476.5389	0.2354	0.009487	0.9144	113.0104	3.4967	0.9913	

- The increase of temperature increased the adsorption affinity, the interaction between adsorbents surface and dye molecules becomes higher and leading to the increase of adsorption capacity of all adsorbents → chemisorption.
- Parameter n in Freundlich represents the heterogeneity of the surface of the adsorbent. When the temperature increases, the value of parameter n also increased due to the increase of the system heterogeneity.

Adsorption Kinetics

- The pseudo-first-order model was developed based on the assumption that the mass transfer controls the adsorption process, while the pseudo-second-order model assumes that chemical adsorption is the rate of determining step.
- From the adsorption isotherm experiments, it is obvious that the chemisorption controls the adsorption mechanism, and this result supports the validity of the pseudo-second-order model to represent the adsorption kinetic data

Conclusion

- Rarasaponin-bentonite-alginate composite has the adsorption capacity three times higher than the bentonite.
- The chemisorption was the controlling adsorption mechanism for all the adsorption systems studied.
- Freundlich adsorption isotherm could represent the adsorption of crystal violet on bentonite, rarasaponin-bentonite, and rarasaponin-bentonite-alginate composite. While the kinetic data was represented well by the pseudo-second-order model.

THANK YOU

Innovation, Science and Technology for Sustainable Construction in a developing maritime country

**Dr. Ir. Emilia.L.C. van Egmond – de Wilde de Ligny PhD, MSc PUM Netherlands Senior
Experts elcvanegmond@online.nl**

Abstract

The importance of the construction industry to the national economies is no subject for debate. At the same time, it is unquestionable that the construction performance needs to improve. This industry is commonly characterized as one that is labour intensive, rather polluting, non-sustainable, with a low level of innovation compared to other sectors. Lessons from the past in other sectors like manufacturing and transport indicate that innovation is the key to improved performance. A sequence of innovations pushed forward productivity and performance, reflecting the existence of a technology and knowledge base amongst the players in those sectors. Despite some innovative developments in the course of time a wide spread change of performance on large scale in construction is limited. The objective of this paper is to discuss strategies to enhance innovation, for sustainability in construction in a developing maritime country. It draws on empirical evidence and contemporary theoretic views regarding the factors impeding or stimulating innovation. These learn that innovation, science and technology require strong collaboration amongst the construction players in the industry network to achieve sustainability in construction.

Key words: construction, innovation, science, technology, sustainability, developing maritime country, collaboration, industry network.

Introduction

The importance of the construction industry to the national economies is no subject for debate. Its contribution to GDP, fixed capital formation, government revenue and employment is significant. In terms of production output the construction industry proves to be one of the largest industries. On the other hand, construction industry is often blamed for being inefficient, labour intensive, non-sustainable, with a low level of innovation compared to other sectors, a low level of technological advancement of on-site construction. The construction activities are held responsible for a large contribution to pollution. The Construction Industry consumes large parts of world's natural resources, which is 3 billion tons of raw materials annually and about 40 % of total global use. (Roodman and Lenssen 1995) and it heavily contributes to greenhouse gas emission and construction and demolition (C&D) waste generation (Muller, 2000; Macozoma, 2002). C&D waste account for some 50% of all waste generated. At present, 80% of energy consumed during the whole life-cycle of a building is consumed during its service life, whilst 20% is consumed for materials production and construction and demolition works. The sector's emission from fuel combustion was 2.4% of global carbon emissions in 1994 and around 5% of global anthropogenic CO₂ emissions when process emissions are added to this (OECD/IEA,2009). The cement industry is an important greenhouse gas emitter. Poor design and construction can have a significant effect on the health of building occupants and can produce buildings that are too expensive to maintain heat and cool. Moreover, still the construction activities do not provide enough decent housing especially for young and lower income households in many countries.

Although the construction industry differs in many respects from the manufacturing industries also in construction one has a transformation of materials, substances or components into buildings and infrastructural works. More than often the example of the manufacturing industry is taken to point innovation as the key to improved performance also in construction.

In the following first lessons from the past regarding innovation in other sectors like manufacturing will be presented. Then innovation in the construction industry will be discussed. Some examples are

given to illustrate the innovations in construction. A particular focus will be on innovative sustainable building materials that came into existence lately. Next, we will review the empirical evidence and contemporary theoretic views regarding the factors impeding or stimulating innovation. At last we will discuss the implications of these views for strategic steps to be taken in the construction industry to push it towards innovativeness and an improved sustainable performance.

Innovation

The innovation process is rather complex. The process implies efforts and interventions regarding the use and development of knowledge and skills that lead to the creation adoption and use of new technologies. The various innovation activities include the search for existing new products and processes; the development and generation of technological products and processes; the execution of fundamental research; the transfer and implementation of the results in the market; the adaptation and improvement of (new) products and processes after implementation, use and evaluation.

Man has gained more and more knowledge and skills in the course of time. Knowledge and technological innovations have been combined to enable the development of new innovative ideas and skills. Based on existing technologies and knowledge a stream of subsequent innovations can be generated.

The process of innovation in many industrialised countries involved extensive changes of production systems which resulted in a shift from home-based manual production to large-scale factory production. Innovation and socio-economic development are closely intertwined, particularly regarding innovation in the field of large-scale energy production and of new materials such as metallurgy, plastics, and polymers, such as applied in industries. (Dicken, P, 2000) The production systems in manufacturing changed through innovations leading to mechanization, systematization, standardization, automatization and flexibilization of the production processes in a sequence of era. In response to the customer's demand for more variability of the production output the production processes became more flexible with a movement towards reaching a higher quality of output and the production of finished products of different kinds.

Research in manufacturing industries has confirmed that those who are able to use innovation to improve their processes or to differentiate their products or services- outperform their competitors measured in terms of market share, profitability growth or market capitalization.

incremental innovation

The majority of innovations (around 70%) is incremental innovation. Incremental innovation involves making small scale improvements to add or sustain value to existing products, services and processes. This can be simple as adding a new feature to an existing product or it can be more complex, for example developing a line extension.

An example of incremental innovation comes from Coca-Cola. The brand's line extensions such as Cherry Coke, Coke with Lime and more recently Coca-Cola Lite have enabled a 130 year old brand to stay relevant, tap into emerging trends and bring something new to its customers over the years.

Another example is from Gillette, the razor blade production company, that has used incremental innovation to stay ahead of the competition. Gillette razors started life with a single blade, but their product has evolved, adding different features and more blades as the company has sought to better meet customer needs.

Breakthrough and radical innovation

The existing knowledge can also lead to create new knowledge that is used for other innovations in related areas, which may cause a tremendous disruption, i.e. the impact on the environment and man involves a change in living, doing, using etc. There will be gaps to bridge required by the change.

Breakthrough innovation comes in two forms: new technology that relies on an existing business model or a new business model that utilises existing technology.

An example of a new technology that relies on an existing business model is from Dyson. The world's first bag-less vacuum cleaner is based on an existing business model but the company harnessed new technology to substantially improve the market offering. This same approach is what's behind Dyson Cool, the company's bladeless fan.

The establishment of supermarkets is an example of a breakthrough innovation which harnesses a new business model. It caused in many cases the disappearance of small individual shops, like bakery-, butcher-, foodstuff-shops.

Radical or disruptive innovation

Radical innovation involves harnessing new technology and a new business model simultaneously and as such, is very rare – only about 10% of innovations fall into this category. In most cases the disruption takes time.

ICT development is a great example of radical innovation during the 20th century. It has had a disruptive impact on many aspects of society. The introduction of personal computers in office environments is an example of disruptive innovation both in the field of technology as well as the business model. Secretarial work changed, letters are no longer dictated, fountain pens disappear from the desks.

In manufacturing enterprises like Nike and Siemens are heading for cyber-physical systems. The goal is to further develop 'digital enterprises' that can adapt to market conditions and use resources efficiently, thus produce more sustainable. That means using technology to integrate product and production lifecycle processes.

Looking back at the past in other sectors one can notice a sequence of innovations which pushed forward the productivity and performance. First by knowing more about materials to be used, then about energy use in production processes; after that knowledge increased about the processes themselves, the management and how to improve these. Next in the era of ICT, tasks are taken over by computers and robots, to make less mistakes and produce faster. Now the stage has reached to reconsider material use at nano level and the effects of these on the environment and its communities. Innovation has become more and more complex and relies on combinations of knowledge and skills of different disciplines and from different sources. (Egmond 2005, 2009) Evidence indicates that the knowledge base is to be found in a network of more or less interrelated enterprises institutions and organisations that all together form the industrial *innovation system*. New ICT developments like the internet have stimulated the diffusion of knowledge across national boundaries. A continuous circuit of innovation took place towards improved production which resulted in a socio-economic value added. By means of this, again new technologies could be developed to meet the ever increasing and faster changing demands of man. Whether innovation really leads to a sustainable development in all its dimensions depends on the prevailing Technological Regime, i.e. the social pattern of knowledge, rules, regulations conventions, consensual expectations, assumptions, or thinking shared by stakeholders in an innovation system, which characterize professional practice and which guide the design and further the development of innovations (Kuhn 1962, Dosi 1982, Nelson & Winter 1982)

The opportunities to innovate depend on the extent to which an industry can draw from the knowledge base, the technological advances of its suppliers and customers, and major scientific advances in universities and R&D institutes. (Malerba, F and Orsenigo, L 1996)

Innovation in construction

By drawing parallels between the impacts of innovations on the industrialisation process in manufacturing, innovations in construction are also expected to contribute to reduce costs through faster construction, to increase construction quality and sustainability, to eliminate dependence on weather conditions at the construction site, and to improve coordination of planning and construction.

A building construction process can be seen as a complex multi stage production system. Each of the stages involves a production process in which intimately related interactions take place between various parties:

- (a) Product development stage; planning, design, engineering, specification;
- (b) Process development and production stage, which includes determination of the construction system, construction planning, work breakdown, work packaging, the schedule and layout of the construction site, organisation structure, cost estimation, tendering, preparation, transformation and assembly of materials, components for physical realisation of a building. cost and quality control;
- (c) Production process stage of building materials, elements and components.

This means that to improve construction towards a more sustainable and productive performance innovations should be applied in each of these processes. Through innovation the design and engineering allow for flexibility, meeting fast changing needs of customers; The construction process can be done speedily and in time; Large quantity of materials can be handled, so the size of the project can be increased; High quality standards can be maintained; Time schedule can be kept; Optimum use of material, man power and finance; Shortage of skilled and efficient man power can be relieved.

Meanwhile innovation took place in the construction industry – though limited compared to manufacturing- by using combinations of innovative solutions based on accumulated technological and knowledge advances in attempts to move from largely craft-based construction to a systematic construction process where resources are utilised efficiently. In fact, a *convergence of technologies and knowledge* from different areas and disciplines has taken place. Construction industry innovations are mostly incremental and took place in various areas: materials, engineering, transport and equipment, ICT, computers, robotics and management.

By drawing parallels between manufacturing and construction like Girmscheid and Hofmann (2000) did, the sequence of accumulated knowledge and technology advances as well as their impact on the construction process characteristics can be noticed as outlined in table 1.

Table 1 Innovation and changing construction process characteristics
Sources: based on Dicken (2000) and Girmscheid & Hofmann (2000)

Era	construction process characteristics	Cumulative technology & knowledge advances
craft based construction	<ul style="list-style-type: none"> - location-bound - labour + division of tasks - building materials and constr. system determined by availability of natural resources 	<ul style="list-style-type: none"> Materials Product engineering
Mechanization	<ul style="list-style-type: none"> - Labour substituted by machines - New materials - Prefabrication of building materials & elements 	<ul style="list-style-type: none"> Materials Product engineering Energy Transport
Rationalization Systematization Standardization	<ul style="list-style-type: none"> - New materials and composites - Standard bld elements & engineering solutions (e.g. components, methods, processes or dimensional standardisation and modularisation) - Pre-assembly (materials, prefabricated components and/or equipment are joined together for subsequent installation); - Modular and dimensional coordination - Work process organization further division of tasks - More control and supervision 	<ul style="list-style-type: none"> Materials Product engineering (based on applied mechanics & building physics; new mathem. tools) Energy Transport Production management
Specialization Automization	<ul style="list-style-type: none"> - New and engineered materials, (e.g. high strength concrete, fibre reinforced materials, glass, ceramics) - Assembly line production processes of standard bld elements with flexibility in design - More control on pace of production 	<ul style="list-style-type: none"> Materials Product engineering Transport Energy Production management

	<ul style="list-style-type: none"> - Mass production: large volumes of standardized products - Large span and tall buildings - Building systems (a product system with an organised entity consisting of components with defined relationships, including design rules) - Construction management - Optimization of procurement & logistics - Lean construction - Concentration on market segments 	Process engineering
Flexibilization Integration	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation of programmable machines (e.g. robots-performing tasks; computerised tools for planning, design and operation; computer added management) - Flexibility in standardized elements and bld systems - Intelligent buildings - Interaction of design, engineering, planning, production, construction and marketing - Integration of planning, construction, manufacturing and marketing - Response to dynamic market demand: (mass customization) >relation/communication suppliers-producer-user- 	Materials Product engineering Transport Energy Enterprise management Process engineering ICT

Examples of innovative design and engineering for sustainability

Circular Business Models consider the entire lifecycle of a project. It is a basic design philosophy founded on the principles of the circular and inclusive economy. European construction group Royal BAM applied this in a pilot project “Circl” in collaboration with the interdisciplinary design studio Doepel-Strijkers, emphasizing reusability. It involves a large pavilion located on the lower floors of Dutch banking group ABN AMRO’s headquarters in Amsterdam, intended for deconstruction from the outset. The idea is that modular building techniques and careful tracking of resources, from spatial design to material choice, should make it possible to reuse virtually all of Circl in other buildings. Thanks to multifunctional and movable furnishings, the interior can be adapted for a variety of functions including a day care, performance venue, meetings, indoor market, exhibitions, or film screenings. The idea is that BAM is trying to create ways to lease materials, so that this future value can be captured.” To that end, BAM is developing an online marketplace to enable 100 percent reuse, as well as new contracting methods that will better account for reuse and contribute to sustainability

In China (Changsha) the BROAD Group architects and structural engineers in collaboration with the Beijing University of Technology designed and constructed a 100 m (328 ft) high hotel with 30 stories. The building designers have developed and applied an entire prefabricated building system. It is both a structural and mechanical engineering response to the demands of a rapidly urbanizing world. A bolted assembly technique is integrated with triple glazing, automatic blinds and air filtration systems. The method is an example of an innovative way of fundamentally rethinking tall building construction. Construction parts are factory made. The main structure consists of a floor slab made up of a concrete-filled, profiled steel sheet, fixed to steel beams, which creates the “board” module. The board is supported by columns, whilst a diagonal bracing is set between beams and columns. The heavy construction parts are joined by high-strength bolts on-site. This prefab system contributes to easy installation, easy disassembly, and easy maintenance, while still ensuring strength. The system has changed the construction process into a lean, sustainable production line. Only 10% of construction time is on-site; the rest is inside the controlled conditions of a factory. In contrast to conventional on-site construction processes this in-factory process limits fire- risk, water or dust infiltration, and construction waste. To increase the sustainability of using the hotel several elements were implemented like: low-flow toilets and shower heads, as well as fitness facilities equipped with self-charging exercise bikes. In this way the low-flow fixtures alone reduce water use 31.1% to an estimated 1.43m gallons per year, compared to

2.07m gallons annually for the same design with standard fixtures, taking into account that one hotel guest room contributes an estimated 218 gallons of water and 28lbs of waste per day.

Improved sustainability efficiency and efficacy in construction processes

Through the application of accumulated knowledge and technologies, construction processes became increasingly mechanized, rationalized, systematized, standardized, automatized and flexible. Mechanization in parts of the construction process on site and prefabrication of building elements were the first phenomena of innovation in the construction industry with the purpose to reduce costs of manpower and time-consuming activities. At present artificial intelligence is starting to make headway into the construction industry. Construction processes are expected to change due to advances in the AI industry. Smart city planning, predictive modelling systems and autonomous building trucks are the near future of industry. Examples of contemporary innovative construction process developments are the following.

Construction-Site Robots. Since 2017s, the range of machine-controlled equipment—graders, loaders, backhoes, etc.—have been expanded to autonomous control and robotic technology. Several innovations are already deployed on construction sites. Examples include SAM (Semi-Automated Mason), the bricklaying robot that works alongside human masons to increase productivity and reduce physical strain on workers; the autonomous track loader, which uses LIDAR, GPS, and digital files to guide itself around construction sites, cutting and filling as needed. Other construction robots are trucks; dump trucks; and self-driving, 320-ton mega machines.

Virtual Reality (VR) in Preconstruction. VR is increasingly used in the construction industry. For example, in 2017, in the US, Layton Construction created 20 virtual mock-ups to conduct user tests of operating theatres and other critical medical facilities for a 485,000-square-foot, 280-bed medical centre in Florence, Alabama. By replacing physical mock-ups, the hospital's owners cut about \$250,000 in costs, while improving efficiency in the constructed rooms. The same technology is now used at larger scales, whilst its realism is improved with sound cues, tactile feedback, and augmented reality.

Augmented Reality (AR) The Japanese heavy construction company Komatsu is developing a smart construction technology which involves taking aerial photos of the site using drones and then transforming those images into 3D data for the site and sending them in real-time. Such AR applications for construction have been more theoretical than actual for years. However, at present there is an iOS app called Air Measure, the “ultimate augmented-reality measuring toolkit,” which offers 15 modes to capture accurate on-site measurements by using just a smartphone.

Sustainable innovative building materials & Systems

The construction industry is a great consumer of natural resources such as wood, minerals, water and energy. Buildings consume 20 – 50% of the physical resources, according to their environment. Consciousness of this gave a boost to the search and use of environmentally-friendly materials, also known as green building materials, which have for their production, placing and maintenance a low environmental impact. Moreover, these materials are durable, reusable or recyclable, include recyclable materials in their composition and are from resources of the area close to where the building activity takes place. Some examples particularly usable in maritime countries are described in the following.

Bamboo

Bamboo, already for millennia, has been a locally-sourced building material in some regions of the world. It is a rather universally agreed that bamboo is one of the best eco-friendly building materials on the planet. It is prevalent around the world and can be found on every continent except Antarctica.

Bamboo is a perennial grass, not a wood, and it continues spreading and growing without having to be replanted after harvest. Its rate of self-generation is incredibly high, with some species growing up to three feet in 24 hours. During the wet periods, the shoot can grow 10 to 15 m per month. The leaves

start to grow during the second year. After 3 to 4 years, the stem is matured and ready for harvesting. The younger stems should remain to allow for new bamboo trees. With good care, a plantation can produce a minimum of 10 ton of bamboo per hectare per year.

Bamboo is a promising building material for modern buildings thanks to its combination of tensile strengths, light weight, (high strength-to-weight ratio) and fast-growing renewable nature. no other natural resource possesses more: versatility, lightness, flexibility, endurance, hardness, strength, climatic adaptability, seismic-resistance, rapid growth, easy handling and visual warmth! Bamboo has an even greater compressive strength than brick or concrete, which is beneficial for using it for flooring and furniture.

However, a negative point is that bamboo contains high levels of sugars which attract insects such as termites and it can swell and crack when it absorbs water. Without proper treatment bamboo has a natural durability of less than 2 years. Some species are more resistant in their natural condition such as *Phyllostachys*. Nonetheless, without proper harvesting, curing and drying they won't last long. Knowing this the following points should be taken into consideration: Protect the bamboo from rain where possible (give the roof quite some overhang); Provide for sufficient ventilation to keep the bamboo dry; Provide for water to drain off, to prevent puddles; The bamboo should be replaceable in case fungi or insect attacks; Preservation methods should be applied.

Preservation methods for bamboo include the use of chemicals such as copper-chromium-boron or any other preparation with borax-boric acid. The most modern and least damaging means is a boron salt, which is actually a fertilizer. These chemicals are put in the bamboo in two ways.

The first way, called *Boucherie*, consists of connecting the bamboo stem, by means of a rubber sock, with a barrel with preservative and a pump. The liquid is then pressed through the veins of the bamboo, where during the life of the plant the sap flow went through. The bulkheads remain so close, otherwise there won't be a building up any pressure. The other method is to water split strips in a bath with preservatives, and then wrap them in a plastic foil and let the drug retract for one or two weeks. This is called the 'dip-diffusion'.

There are roughly 1500 known bamboo species in the world, but only about 50 species exhibit favourable properties for construction related purposes, like flooring, panelling, laminated lumber, etc. Especially tall and fast growing '*giant timber bamboo*' is of interest because of their large dimensions and favourable yield. Those bamboos that are straight with a diameter of 60 mm or more (bamboos can go up to 250 mm in diameter) and 10 to 30 m high are particularly useful for construction. Every bamboo species has its own structural and mechanical properties.

Consequently, building construction with bamboo requires a careful investigation of the properties of the species. Bamboo species that meet the criteria for sustainability, durability and strength for construction include species of the genus: *Guadua* *Dendrocalamus* and *Phyllostachys*. *Guadua angustifolia* is native in South America. In Asia there is its counterpart: *Moso* (*Phyllostachys edulis*) which is the commonly utilized bamboo species for industrial bamboo manufacturing. (see web site: <https://www.guadubamboo.com/guadua/comparing-mechanical-properties-of-bamboo-guadua-vs-moso>)

In any case bamboo can be and has been used for many purposes. Bamboo as raw material can be processed or just applied as bamboo structural material. Bamboo is processed in many ways producing (new) materials that are applied for different products, like the following examples.

Woven bamboo: Freshly cut green bamboo can be split into strips (thick 1-2 mm, wide 20-30 mm). With these strips mats can be woven which can directly be used in construction (for walls) or glued together in to a multiplex-like mat board.

Ply-bamboo: A plywood-like material can be obtained by cross wise gluing strips (thick 4 mm, wide 30 mm) in three layers. The production process of ply-bamboo includes the following steps: 1. Bamboos

stems are split into thin slivers; 2. Slivers are woven into mats; 3. Mats are soaked in adhesive resin; 4. Mats allowed to drain & dry; 5. Mats pressed together under high temperature and pressure to form ply-bamboo sheets 6. Sheets are trimmed to shape and may then be painted.

Advantages of ply-bamboo production: (1) Reduces dependence on timber resources through wood substitution (2) Permits rehabilitation of degraded lands through increased areas of bamboo plantations.(3) Creates employment opportunities for unskilled, semi-skilled & technically-trained staff at factory.(4) Creates significant employment opportunities for mat weavers.(5) Mat weaving done at home and is ideally suited for women unable to leave their homes for much of the day.(6) Increases community welfare & improves local rural economies if established as community enterprise.(7) production is labour not capital intensive and helps to develop small scale industry sector in rural regions. A production plant in Vietnam for example that produces 0,5 million m² roofing sheets/yr creates employment for 200 people, mostly female weavers.

This production process also allows the production of corrugated roofing sheets in a standard matboard factory simply using a hot press with changeable pressing plates. This implies a larger range of products and larger business sustainability. The financial breakdown (based on costs in Vietnam) shows a rather promising picture:

Start up capital for purchase of equipment	\$17, 000
Cost of producing one corrugated bamboo roofing sheet, 0.8 x 2.0 m, in a factory with a capacity of 500, 000m ² per annum	\$ 1.95
Selling price in Vietnam	\$ 2.17
Pre-tax profit per sheet	\$ 0.22
11% of production costs	

Paper: Bamboo can easily be processed into fibres making it an excellent material for the paper industry. (Compared to wood, bamboo has a fibre that is somewhat longer).

Reinforcement of concrete: Bamboo has been used as reinforcement instead of reinforcement steel, when the steel was too expensive. It is NOT RECOMMENDED although the tensile strength of bamboo is as high as that of reinforcement steel. (Janssen, Jules J.A. 2000) Nonetheless reinforcing with bamboo is precarious, due to facts that: (1) The E-mode of Bamboo is equal to 20.000 N/mm², which is the same as the E of concrete. Therefore, bamboo cannot act as reinforcement since the deformation of both materials is equal, which will result in cracking of the concrete; (2) Bamboo shrinks, which results in disconnection/detachment of the bamboo and the concrete; (3) Bamboo can deteriorate due to the alkaline content of the concrete (pH = 13).

Application of bamboo in building construction

Building with bamboo is slowly becoming more popular. Guadua and Moso can easily meet the international Building Code (IBC) and the environmental requirements. The USA and Europe do not have approved building codes for permanent bamboo structures (yet)! Although bamboo has proven its value, bureaucratic and political agendas as well as public perception of the material as poor man's building material seem to form a barrier. Besides, for example in regions like Latin America, bamboo as a cultivation crop still doesn't have the same popularity as Teak. This raises the cost of bamboo if there is no sufficient supply.

In areas where bamboo became a regular building material, floors, walls and roofs all are made of bamboo. Bamboo *frame structures* are used to support the roofs of houses, schools or hospitals. Joints between the different bamboo poles are usually a problem. There are different ways to make joints for bamboo frames. To select the correct way of jointing an investigation should be made regarding the availability of materials and the local skills of the workforce.

Bamboo used as *roofing material* is often problematic in terms of durability. Bamboo which is not protected against rain and wind will only last for two years. Three examples of bamboo as roofing material: (1) Half bamboo beams, with alternating layers open side up and open side down; (2) Bamboo

shingles, made of green beams with a large diameter. For a watertight roof, three layers of bamboo shingles are needed. After two year the shingles have to be renewed and the old ones can be used as firewood. (3) Bamboo frames covered with a layer of cement mortar or covered with grass

Bamboo flooring systems consists generally of crossed beams, covered with a woven bamboo mat or split bamboo-laths.

Examples of *bamboo wall structures* are split bamboo laths nailed to bamboo frames and thin bamboo stems woven between bamboo laths. The walls often are not completely wind- and watertight.

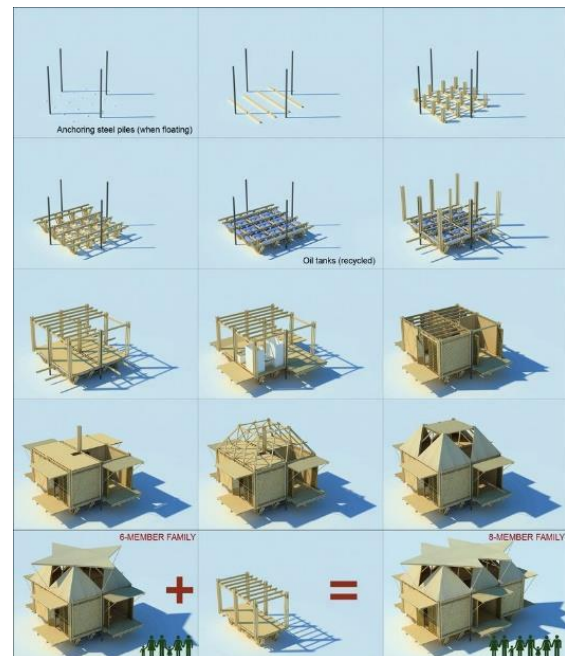
Bamboo Scaffolding In countries where bamboo is abundantly available, people are smart in making bamboo scaffolding. The safety-issue can of course be questioned

Meanwhile bamboo use for construction purposes and manufacturing of bamboo products has taken a flight in for example China and Vietnam. China is the largest bamboo and bamboo products producer in the world made from Moso. Vietnam has several prefab bamboo houses manufacturing plants, where complete packages for a prefab bamboo house can be ordered, to be produced and shipped to other continents.

Pilot projects in Costa Rica have learned that low cost prefab bamboo houses, manufactured and assembled in the country itself cost around 1500, - US\$.

In a PREFAB low cost housing project developed by Vietnamese H&P architects for a six-member family the costs are just under 2000US\$ per house. The low-cost housing project is situated in a flood-stricken region that receives extreme temperatures year-round. The design of the houses meets the basic residential needs of a residential dwelling. The building consists of minimal components and prefab bamboo module units, assembled by using secured using anchors, ties and solid connections.

The bamboo structure is built on recycled oil-containers strong enough to float in floods. The design concept combines traditional architecture and contemporary exterior fabric characteristics. Its sustainability is secured through the construction with local materials such as bamboo, leaves and recycled oil containers. the plan allows for mass-production, and the ability for villagers to build their house themselves, by just assembling the parts.



coconut tree fibres, shells

Coconuts are typically growing in coastal areas of tropical maritime countries. The husk is abundantly available as cheap residue from coconut production in many areas, which is known to yield the coarse coir fibre. Traditionally, products such as coconut mats, woven carpets, ropes and brushes are made from the husk, the hard, hairy shell, by separating the fibres from the husk. In the construction industry, the husk is used as a mat in preventing the erosion of soils.

The husk of a coconut comprises 30 per cent coconut fibres and 70 per cent flesh. Because the flesh (pith residue) contains relatively high amount of lignin, sustainable production of board material from the husk appeared to be possible, without using chemical binders. The lignin, a substance that is found in ligneous cell walls, acts at elevated temperatures and under pressure as a meltable binder thus forming a strong and stable natural adhesive. The department of Biobased Products at Wageningen UR, the Netherlands has developed a method to manufacture high-grade board material from the husks of coconuts. (Van Dam et al., 2004). The procedure for making boards is already old. However, the difference compared with existing production methods is that the husk is processed in a 100 per cent natural way into smooth boards or other forms, like 3D moulded products. The processing routes from husk to boards that have been developed consist of the following steps. First the husk of the coconut is separated. After separation from the coconut, the husk is processed into small pieces (small particles and short fibres) and processed using three opening techniques, viz. steam explosion, extrusion and milling. These three fibre opening processes yield material which can be processed quite well into board material by means of hot pressing.

Regarding the properties of the produced boards (called ecoco boards), such as sturdiness and fire safety, is stated that the product is comparable to or better than medium density fibreboard (MDF). The board material made from coconut husk can be used for all kinds of applications, for example, in the construction sector, such as wallboards, frames and similar. The material is intended for both local consumers and for export, for example, the furniture industry.

The use of coconut husks for the production of board material has a number of advantages:

- The method is sustainable and environmentally friendly. The residual material of the coconut is used entirety. It is a good alternative to wood and helps to prevent deforestation. Artificial glue and chemical agents do not need to be added. The production is CO2 neutral.
- It is inexpensive. Glue is not required to process coconut husk into board material. The chemical glue that has to be added for the production of wood fibre based boards contributes to one third of the total production costs.
- It can form an extra source of income for farmers in developing countries.

The technology to produce board material from coconut waste was developed in conjunction with institutes in the Philippines. The study is funded by the Common Fund for Commodities (CFC), a collaborative project between 100 countries that supports and assists agricultural projects. Biobased Products in Wageningen is currently considering the options for large-scale production. A production factory is being set up to this end. The intention is to transfer knowledge and technology to coconut-producing countries, such as Sri Lanka, India, the Philippines and Indonesia. (J.E.G. van Dam et al. 2004)

coconut shells and fibres as a substitute for aggregates in developing concrete hollow blocks.

Coconut shells and fibres are also applicable as a partial substitute as coarse aggregates for concrete hollow blocks. The quality of the coconut shell and fibres to be used as aggregate of concrete hollow blocks is determined by its particles, shape, and texture, resistance to crushing, absorption and surface moisture, grading, resistance to freezing and heating and light weight. So far the coconut shells and fibres are classified as miscellaneous material, generally used for wall panels and partitions. A research project indicated that hollow blocks with Waste Coconut Shells as Substitute for Aggregates in Mix Proportioning has a compressive strength higher than the conventional concrete hollow blocks after 28th days. (Recycling of Waste Coconut Shells as Substitute for Aggregates in Mix Proportioning of Concrete Hollow Blocks. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/257099368>)

sea-crete materials from the ocean

In a maritime country near salt water, one will be able to grow structures just with a cathode of wire mesh material or hardware cloth, in order to shape such “fencing” into the finished building one wants and let electricity attract the sea minerals to the form!

Seacrete, is a material formed by electro-accumulation of minerals dissolved in seawater. Wolf Hilbertz developed the process and patented it in 1979. The seacrete building process grows cement-like engineering structures and marine ecosystems, often for mariculture of corals, oysters, clams, lobsters and fish in salt water. Hilbertz found that as the salt water electrolyzes, calcium carbonate (aragonite) combines with magnesium, chloride and hydroxyl ions to slowly accrete around the cathode, eventually coating the electrode with a material similar in composition to magnesium oxychloride cements and as strong as concrete. Over time cathodic protection replaces the negative chloride ion (Cl^-) with dissolved bicarbonate (HCO_3^-) to harden the coating to a hydromagnesite-aragonite mixture with gaseous oxygen evolving through the porous structure. Later experiments showed that the coatings can thicken at the rate of 5 cm per year. As long as current flows, the structure continues to grow and strengthen. It can heal itself if damaged, making it particularly useful as a replacement for concrete in hard-to-access locations. High levels of dissolved oxygen make it particularly attractive to marine organisms, particularly fin fish. This appeared to result in a building process largely independent of land-based resources. The material is similar to the composition of natural coral reefs and sand beaches..

Seacrete structures can be built in any size or shape depending only on the physical makeup of the sea bottom, wave, current energies and construction materials. They are well suited for remote, third world sites where exotic building materials, construction equipment and appropriately skilled labor are not available.

Seacrete is cost-effective, requiring only metal bars or equivalent and electricity. While electricity provided from fossil fuels generates CO_2 , seacrete projects often use renewable solar power, wind power, tidal power and wave power. During his experiments Hilbertz was soon using small wind generators — set on a reef above the growing structures — that were capable of generating 60 to 200 watts in normal winds, which was more than enough electricity to produce even large buildings. The simple wind generators cost \$600 each, but they could easily be duplicated by anyone handy with tools (using all new parts) for about \$350 and for a lot less cash if secondhand automobile alternators were used to generate the current.

Wolf has been able to grow in mere weeks (!.not months) large panels (about an inch thick, uniform in density, and considerably stronger than reinforced concrete of the same thickness) that are suitable for permanent, nonload-bearing walls. The resulting material is cheaper than concrete blocks in many places, depending on electricity and cement transport costs.

The US company Biorock uses the seacrete process for the purpose of coral reef restoration, by mimicking natural reefs. One prominent example was in the Maldives during the 1998 warming, during which fewer than 5% of the natural reef corals survived. On biorock reefs there, 80% of corals flourished. As of 2011, biorock coral reef projects exist in over 20 countries in the Caribbean, Indian Ocean, Pacific, and Southeast Asia.” Indonesia has the most biorock projects, with sites near over half a dozen islands, including the world's two largest reef restoration projects: Pemuteran with the Karang Lestari and the Gili islands with the Gili Eco Trust.

Bio-foam made from algal bloom

Algae are one of the few species that thrive because of global warming, forming a problem of their own. Algae grow fast, but only live for a short time before starting to decay, a process that consumes oxygen from the water. The severe eutrophication of coastal areas in maritime countries is one of the biggest environmental threats at present, as excessive blooming by green algae, activated by industrial pollutants in water, endangers the fragile balance of ecosystems. There is often an increased sliming of shore areas, piers, and fishing equipment, caused by the dense growth of microalgae and filamentous green algae, which is an obvious sign of worsening seawater quality. This growth reduces the transparency of the water. Algae growth is enhanced by human activities, (lawn fertilization, poor maintenance of septic systems, inadequate sewage treatment, agricultural runoff, and excessive use of detergents containing phosphorus), causing high phosphorus and nitrogen levels in the water.

Oxygen depletion, excessive nutrients supply, and eutrophication severely harm the functioning of marine ecosystems.

Alarming reports from many regions, including the United States, Indonesia, the Philippines, Australia, Japan, and the Baltic region, emphasize the global problem of excessive blooming of *Cladophora* algae, not only from ecological perspective. The detrimental impact of this on society is not negligible. Shores, public beaches are covered a thick dense biomass of deteriorating algae spreading a strong septic smell. Although filamentous green algae do not produce toxins in contrast to blue-green algae, the rotting algal biomass forms an excellent environment for bacterial growth, such as *Salmonella*, thereby putting human health at risk. Cleaning of the shores requires investment in time and money. Tourists stay away and real estate prices in coastal areas are dropping.

Despite the negative aspects of Green filamentous algae blooms, the latter represent an unexploited, renewable source of highly crystalline cellulose material that features highly beneficial properties that could be used in various industrial applications. Unlike brown and red algae, which are harvested and processed on a large industrial scale, (production of soap, glass, food stuff, cosmetics, pharmaceuticals), green algae so far have found only limited industrial use. Green filamentous algae can be processed to make fertilizers or soil-improving material in parks, golf courts, and in recent years, a new rapidly expanding technology allows one to obtain biodiesel fuel from algae rich in unsaturated fatty oils. The green gold Biofuels are the future. However, production of fuel from corn or soy, will only add to the pressure on global food production.

Algae are referred to as the 'green gold'. You can extract oil from them and they reproduce rapidly. That translates into an infinite source of fuel. An algal pond the size of Belgium several times over is enough to provide the entire world with oil, according to estimates by U.S. researchers.

**A US based company called Bloom has found a way to harvest the algal bloom and turn it into bio-foam . A mobile harvester unit pumps up the pond water with algae blooming. The water is mixed with a water-safe coagulant that causes the algae to clump together. These flocks are pushed to the surface by air bubbles, and then skimmed off into a collection tank. After that, the water is filtered and put back in the pond. The algae mass is dewatered and dried in a solar drying process. When the mass is dry, it is turned into flexible foam. The bio-foam is not biodegradable – though Bloom says it might be in the future. For now though, they combine the algae with a substance called ethylene vinyl acetate (EVA) that enhances the performance qualities, but is not biodegradable. The bio-foam consists of 15 to 60 per cent of algae mass. Bloom claims also to be able to produce foams with nearly 100 per cent algae content. Still, the foam has several advantages over other kinds of foam. By harvesting the algae, they keep the ecology of the waterways in balance, use less non-renewable oil, and use GMO- and pesticide-free feedstock. Additionally, the foam has antimicrobial properties, which are solely derived from algae. This antimicrobial component is for 99.99% effective against the growth of odor-causing bacteria. All foams are also hypoallergenic. Bloom offers eight stock colours, and they produce custom colours for agreed minimum order volumes. Because the algae have a natural greenish colour, they do not offer white at the moment. The foam has a natural odour, but nothing off-putting, as they put it on the website. In the future they may offer an odour-free version. They also have a large variety of densities. Bloom is not the first to make products out of algae, nor is it the first bio-foam.*

**Spiral Plate Technology (SPT) In the Netherlands Evodos (www.evodos.eu) developed a way to produce sustainable algae as well as a dehydration device (35.000€) industrial Spiral Plate Technology (SPT) centrifuges for separating matter in liquid and to convert the algae into biofoam. Algae are dehydrated and dried by means of solar-drying. When the algae are dry, it becomes a flexible foam, with antimicrobial and hypoallergenic properties.*

** Cladophora algae cellulose as reinforcement fibres in polyurethane foams serves the purpose of improving the elastic modulus, increasing the impact strength, enhancing the thermal resistance, controlling colour, improving the biodegradability, and decreasing cost. The cellulose content in filamentous green algae is significant and can be as high as 20–30 %. Research suggested that hydroxyl*

groups on the surface of cellulose fibres exhibit a high chemical affinity to polyurethane and, thus, may act to covalently bond the polyurethane matrix with the cellulosic filler. Properly dispersed, the Cladophora cellulose fibres reinforcement improves the strength of polyurethane foams.

**The BIQ Project.* In Hamburg Germany Arup construction company along with SSC Strategic Science Consultants and Splitterwerk Architects designed a building called the Bio Intelligent Quotient House (BIQ). It contains 15 apartments and has 129 algae filled louvered tanks hanging on its exterior, on the south-east and south-west part of the building. The purpose is to power the building exclusively by algae, i.e. to heat buildings, fertilize rooftop gardens and even filter vehicle exhaust fumes.
<https://www.arup.com/en/projects/SolarLeaf>

The algae were retrieved from the Elbe River and then placed in large, thin, rectangular cases. The algae live inside these clear cases in a water solution, provided with nutrients and carbon dioxide using an automated system. Next, each tank was fixed to the outside walls of the building, onto the scaffolding, thereby allowing the tanks to be turned towards the sun (a similar technology that is used by solar collectors).



During the summer months, the algae grow rapidly and provide greater shade for the building to keep temperatures down. Any excess built up heat is collected in water tanks and transferred to saline water tanks that are placed underneath the building for use at a later point in time. After the algae in each tank reaches a certain age, some of the biomass is harvested and taken into a processing facility in the building, to convert it into biogas. This provides heat during the winter months. This allows the building to be heated without the use of fossil fuels.

The design and construction of BIQ have taken approximately 3 years and has cost 5 million Euros.

Tiles from Used Plastic

Affordable roofing has for many years remained a far-fetched dream for many people in developing countries. Iron sheets and clay tiles are expensive, whilst their durability and safety is not always guaranteed. On the other hand, there is a lot of plastic- waste just released to the environment. Nairobi alone, for example generates 560 metric tonnes of plastic waste every day.

One can find this waste in the sea, rivers, drainage systems all forming a risk for man and nature. Instead, this trash can be seen as an affordable opportunity to be converted into building materials, such as roofing tiles, floor tiles, cladding material, whilst getting rid of the large amount of plastics.

For the production of roofing tiles two major components are needed, both more or less free of charge. high density polymer plastics, such as used jerry cans, computer cases, old pipes, water buckets, mobile phone cases, etc. and sand. (fine sand with no particles; the smoother and cleaner the sand, the better)

Next, the equipment needed consists of a Plastic Shredder, that chops plastic into small pieces and a Plastic Extruder. The latter will mix and melt the plastic and combine it with the sand. The two machines can be ordered in for example India (Archana) or China (Yaoan Plastic Machinery), but might be locally available as well.

The process of producing the tiles is rather straightforward: One shreds the plastic, then mix with the sand (Mix of 70% plastic and 30% sand for best quality roofing tiles) and pour it inside the extruder. The molten mixture of sand and plastic from the extruder then is placed in a molder (supplied alongside the machines) which will shape out the roofing tile and within 10 minutes your roofing tiles will be ready. Estimated budget and returns: \$15,000 starting budget and \$10,000 returns/month/

Other products that can be made in the same way are for instance: plastic poles or manhole covers. One should experiment beforehand with the mixture and molding process and sand might be replaced by saw dust.

In the same line of thoughts, the Thai company Sonite Scapa Solid Surface established in 2007, developed tiles for flooring, paneling, table and countertops, but also to produce furniture which is ecofriendly and at the same time reflect a high sense of design. This is achieved by blending waste plastics with high-grade fillers to produce a distinctive texture. The nonporous structure gives it good resistance to stains and bacterial growth (which are common with stone), especially in the kitchen, bathroom, and other areas requiring high sanitary standards (easy to clean). Its moisture resistance makes Sonite surfaces applicable for bathrooms, spa facilities, indoor swimming pools as well as covered outdoor areas. The material is thinner and lighter than conventional glass and ceramic options. (<https://sonitesurfaces.com/>)

Agricultural waste

An example of innovative use of agricultural waste is Cornspan in Chang Mai Thailand. Burning corn waste (corn husks and cobs) is a common farming practice in Chiang Mai, Northern Thailand. It is the cause of an annual haze effect, an atmospheric condition where particles, smoke, dust and moisture suspend in the air, obscuring visibility and causing long term damage to both the environment and the health of those people who live within it. By aiming to reduce or eliminate the problem the Thai Apilada Vorchart (architect /designer/researcher with a multidisciplinary approach to projects concerning materials) developed economically attractive uses for the corn waste, with an emphasis on environmentally sustainable practices and traditional craft skills whilst providing the economic and social benefits for local families and communities. Corn husk fibres are used to manufacture panels that can be applied in local construction for sound and thermal insulation. Charcoal from corn cobs can be added to give it smell and moisture absorption qualities. These panels facilitate improved standards of habitation and provide additional income for local families whilst mitigating against the haze effect

Another example of using agricultural waste is Green Styrofoam BioFoam, a biodegradable EPS. It is produced from vegetable waste obtained from from organic waste (sugar cane or cassava starch) with Synbra Technology in the Netherlands. The green-coloured BioFoam grains produce seventy percent less CO2 emission than Styrofoam, which is made from petroleum. www.biofoam.nl

Recycled rubber and plastics

Recycled rubber is used for the production of new rubber tiles to be used for instance at playgrounds.

Next, the construction industry began successfully using *recycled rubber*—mainly from used car tires— as an asphalt admixture that improved quality, lowered material costs, and reduced landfill waste. In recent years, that practice has extended to using recycled bottles and other single-use plastics in asphalt.

In fact, the Dutch city of Rotterdam has even proposed building a new bike path entirely out of recycled, LEGO-like, plastic blocks that snap together. And plastic and rubber are not the only recycled materials being mixed into asphalt: Researchers at RMIT University in Melbourne, Australia, have shown that adding cigarette butts can improve roadway quality while safely containing heavy metals; and in Sydney, recycled printer toner is incorporated into an environmentally friendly asphalt mix.

3D-Printed Concrete Buildings and Bridges

Experiments are on-going on the use of ICT and 3-D opportunities to be used in the construction industry. Additive-manufacturing concrete printers aren't exactly new but still research is done to find the most effective and efficient way of working with the new technology. The cement mixture to be used is one of the aspects to be investigated further. 3D printing offers many advantages here: Structures require only the amount of cement that will be used (lowering carbon-dioxide emissions),

require no formwork (lessening waste), and can be built into shapes previously possible only with extensive CGI movie magic.

In any case in China for example complete housing units are printed at present. In the Netherlands Delft University graduates are in the course of printing a total canal house (based on the traditional design) in Amsterdam.

In 2017 a major milestone has reached as not one, but two bridges were constructed on-site using commercial 3D printers. The first bridge, a Gaudí-inspired footbridge in Madrid, was designed by the Institute of Advanced Architecture of Catalonia. The second bridge is a cyclist bridge in the Netherlands. It was designed and built by engineers from the Eindhoven University of Technology and construction company BAM Infra.

Water hyacinth or water lilies are free-floating perennial aquatic plants, abundant in the Philippines. The plant has the ability to remove toxins such as cyanide, arsenic, cobalt, cadmium, lead, and mercury, which is environmentally beneficial in closed areas. In the Philippines the Department of Environment and Natural Resources of the Philippines has developed Natura, a paper product as interior wall covering and furniture surface material based on Water hyacinth. The harvesting of water hyacinth helps to eliminate river and lake clogging. The plants are processed and bonded to a paper backing with water based adhesives and finished with a coating. Natura, as the resulting product, is a light yet substantial material with a slightly textured surface. The natural product is not applicable for areas with direct sunlight and with high moisture. It is available in four designs; items are approximately 500x500mm or available in customised sizes ([TCI Tang Chen International Corp.](#))

LESSONS LEARNT.

The construction industry has continuously developed during the years. There are many examples of innovative solutions, that have come into existence all over the world.

Innovation processes do not take place in isolation. Innovations could be developed, based on knowledge and skills that were already available somewhere and served the purpose to increase productivity and sustainability. Most innovations in the construction industry are incremental. What could be seen is that the cumulativeness of the technical advances reflects the existence of a technology and knowledge base. Based on existing technologies and knowledge a stream of subsequent innovations can be generated that are incremental changes of the original one, or it may create new knowledge that is used for other innovations in related areas. Economic environments characterized by continuities in innovative activities and increasing returns are considered to have high levels of cumulativeness. The property of the knowledge base relates to the nature of the technology and knowledge that is available to support innovative activities. In other words, the technology and knowledge base forms the building blocks for future innovations. *The opportunities to innovate depend on the extent to which an industry can draw from the knowledge base, the technological advances of its suppliers and customers, and major scientific advances in universities and R&D institutes.*

Building product and material manufacturers have been the major sector of the construction industry to actively develop or look for new technology to improve their products, given the fact that they can profit from scale economies. However, evidence learns that it takes time and often quite some barriers to overcome once the invention is developed.

As mentioned before, the innovation process involves not only the invention -i.e. the development of new technologies (products and production processes) and knowledge-, but also the diffusion (acceptation, adoption) and application of these in practice. To enhance the acceptance and adoption of the innovation, innovators must put efforts to communicate their invention, share their ideas with the public and invest in marketing.

The available array of innovations in the construction industry worldwide gives way to the idea that there is no need to invent the wheel all over again. No need for too much efforts for research to develop critical "next generation" innovations. It is possible to make use of new design concepts, building technologies and products, which were developed elsewhere. By doing so it implies less risks, time, money needed to bring about complete new inventions. Besides there are excellent opportunities, thanks to ICT developments that might support free transfers of innovations. Construction operations are rather transparent, easy to copy and have the opportunities for job-site training; the industry has an extensive scope for diffusion of inventions and technological improvements from other projects and industries.

The construction industry includes a variety of actors. It is a network of more or less interrelated enterprises, organisations and institutes. One could expect that these actors jointly and individually contribute to innovation. Evidence in other sectors indicate that long term linkages between the various actors are critical for innovativeness, for the ease at which existing knowledge can be tapped from other actors and for the efficiency in terms of speed and costs at which inventions in these are realised, handed over and used by and among the actors. It is not only the linkage that counts it is also the *size and nature of the knowledge base* within the distinct institutes, organisations and firms that is considered determining for innovativeness and sustainability.

Although there are incentives to innovate, still innovation does not always result in the expected effects of improved productivity and sustainability. There are factors impeding innovation and improved sustainability.

The technological regime, (the existing common culture or pattern of thinking, perception, behaviour), seems to adversely affect the acceptance, adoption and application. *Impeding factor* for rapid acceptance of innovations in the construction sector is the tendency to conservatism making that diffusion of innovations - a new or improved material, building element, process component or procurement method - generally faces quite some constraints within the construction industry. The reluctance to change is enhanced by risks of unforeseen failure and damage during the project execution and a marginality of profits. Acceptance, application and implementation of technological developments, inventions and improvements in the construction industry therefore slowly come to pass.

There also is a policy and regulatory environment that might form either a stimulant or a constraint to innovation. The array of regulations and standards -often unduly conservative and prescriptive- as well as the variety of contractual agreements and the separation of responsibilities among those involved in a construction process can be blamed for this.

Linkages in the construction industry are mostly project bound and of temporary nature. The construction industry is characterized by a high percentage of small and medium sized firms. *Much of the technology and knowledge – at least in the contractor business- is tacit, not codified and project experiences are often not documented, which makes further spreading of the acquired knowledge and skills more problematic.*

Not all linkages are strong. Not everybody is always familiar with the available array of innovative solutions. Knowledge exchange is often in-sufficient.

A negative aspect of the easy access to innovations that were developed elsewhere is the possible adoption of products and processes that are not appropriate in the local context. (Egmond 2007). Moreover, one can often see that the modern way of life is often taken over thereby introducing a "MacDonaldized" culture. Technology choices are then lead by the examples from the most innovating countries. Traditional materials and techniques are abandoned. "Modern" materials and innovative techniques are introduced instead, just taken over from abroad, thereby introducing the negative impacts of these practices as well. Besides, often the knowledge to correctly apply the materials and techniques has not yet developed sufficiently, which results in a bad output quality.

This emphasizes that it takes time and a certain learning period for a correct application of any innovative technology that is taken over from elsewhere. (Stiglitz, 1999)

In short can be stated that innovation can contribute to an improved productivity and sustainability in Construction. However, one should take into account that the up-take, acquisition, adoption and implementation of innovative solutions is often impeded or sometimes stimulated by specific features of (1) the local economic and socio-organizational context; (2) particular client's requirements for sustainable construction; (3) regime, rules habits in the rather traditional construction industry.

Innovative designs, building technologies and products should match with these features. Adoption and application of innovations requires in most cases (1) Willingness and capability to accept and apply (2) a proper merge of existing and new knowledge and skills; (3) change in traditional culture and habits amongst both clients and construction players; (4) collaboration and consensus amongst various players in the network of the construction industry: architects, engineers, contractors, material suppliers, research & educational institutes, policymakers

RECOMMENDATIONS

INNOVATION SCIENCE & TECHNOLOGY for SUSTAINABLE CONSTRUCTION in a developing maritime country

There are excellent opportunities to make use of innovations, new design concepts and building products and technologies developed elsewhere, supported by ICT developments (free transfers of innovations)

Many relations amongst various players in the network of the construction industry, such as architects, engineers, contractors, material suppliers, research and educational institutes form all together the knowledge base of the industry, that can to support and stimulate the exchange of knowledge and skills, to develop, identify, acquire, adapt, apply innovations.

A way forward to achieve the targets of sustainability could be through the development of integrated processes of design, construction and management with transparent forms of planning and cooperation as well as innovative forms of communication and/or exchange between planners and builders and a focus at innovation throughout an integral process of design and construction.

Supported by ICT developments and application, it is expected to lead to innovativeness and sustainability and at the same time will bring about radical changes for the involved firms.

An important role for Governments is to improve the efficiency of collaborative teams that innovate and facilitate their formation. Innovation stimulation implies that people – both construction workers, professionals as well as construction clients- become more educated and know more about innovative solutions, for instance on material use, energy conservation, lighting, indoor air quality, and other health and comfort related issues. Clients (homebuyers and commercial property owners) with better insight and knowledge may put pressure on firms to deliver better quality goods and services.

The foregoing leads to the conclusion that there are opportunities to boost sustainability in construction in a developing maritime country, through innovation, science and technology. This rests on the notion that *Innovation, Science and Technology for Sustainable Construction Engineering in a Developing Maritime Country requires strong collaboration amongst the construction players.*

In this view it is recommended:

To establish and strengthen the relationship in Industry driven collaborative teams, beneficial for all partners, based on identified needs for innovation in the industry.

To develop, identify, adopt, adapt and apply cost-effective *innovative sustainable strategies* starting from the pre-design phase

To collaborate with research, educational institutes:

- To carry out industry-driven scientific and engineering to develop "next generation" innovative sustainable design and engineering
- to adapt acquired innovations from elsewhere with support from and
- To exchange knowledge and skills, on the job and through demonstration projects
- To merge existing and new knowledge and skills through training and education programmes for students and construction employees

Get support from and collaboration with policy makers and financing institutes

- To enhance a regulatory and supporting framework to stimulate innovation in construction
- To support financing opportunities

References

DamJ.E.G.. van; Oever, M.J.A. van den; Teunissen, W.; Keijzers, E.R.P.; Peralta, A.G. ... (C) 2003 Elsevier B.V. All rights reserved. Publication information. Source: *Industrial Crops and Products* 19 (2004)3. - ISSN 0926-6690

Dicken, P. (2000) *Global Shift: Reshaping the Global Economic Map in the 21st Century*, London: Sage Publications Ltd. pages 656

Egmond - de Wilde De Ligny, E.L.C. van, (2005). *Successful Industrialization, Innovation and Prefabrication in construction. Combining Forces. Advancing Facilities Management and Construction through Innovation* (pp. 415-426). Helsinki, Finland: RIL, VTT

Egmond-de Wilde De Ligny, E.L.C. van (2006). *Innovation and technology diffusion in construction by means of strategic niche management*. In R. Pietroforte, E. de Angelis (Eds.), *Construction in the XXI century : local and global challenges*. Rome: Edizione Scientifiche Italiane

Egmond-de Wilde De Ligny,, E.L.C. van, Vulink, M.(2007) *International technology and knowledge flows among foreign and local contractors*, in *Proceedings CIB World Building Congress, 2007, 14-18 May Cape Town, South Africa*

Egmond-de Wilde de Ligny, E.L.C. van, (2009) *Industrialisation Innovation and prefabrication in Construction*, Working paper EvE/06-2008/BCC/TUe presented to OECD, Paris

Girmscheid, G. and Hofmann E. (2000), "Industrielles Bauen-Fertigungstechnologie oder Managementkonzept?" *Bauingenieur* Band 75, Sept, <http://link.springer.de/link/service/journals/94194/papers/0075009/00750586.pdf>.

Janssen, Jules J.A. (2000) *Designing and Building with Bamboo*, TECHNICAL REPORT NO. 20.Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands

Macozoma D. S. 2002. *Secondary Construction Materials: An Alternative Resource Pool for Future Construction Needs*. Concrete for the 21st Century Conference. Eskom Conference Centre, Midrand, Gauteng

Malerba, F and Orsenigo, L (1996) "Schumpeterian patterns of innovation are technology specific". *Research Policy*, 25, 451-478.

Malerba F. (2002), *Sectoral systems of innovation and production*, *Research Policy*, 31, pp. 247-264

Muller R. 2000. *Green Building basics*. US Department of energy, internet site www.sustainable.doe.gov/buildings/gbarttoc.htm.

Nelson, R.R. and Winter, S.G. (1982): *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

OECD/IEA (2009) *World Energy Outlook* 2008, OECD, Paris, <http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2008/WEO2008.pdf>

Roodman, D.M. and N. Lenssen, (1995), "A building revolution: how ecology and health concerns are transforming construction", Worldwatch Paper 124, Worldwatch Institute, Washington, DC, March.

Stiglitz, J. (1999) *Knowledge as a global public good*, World Bank
<http://www.worldbank.org/knowledge/chiefekon/articles/undpk2/>

Power Quality in Modern Health Care Facility

Rusdy Hartungi¹

London Southbank University

103 Borough Road, London SE1 0AA, UK Ph: 020 7815 7197

Abstract. Modern healthcare facility has unique power system requirements as the power quality and reliability is a crucial feature to maintain the critical services such as surgical operations, intensive care units and other critical services. Healthcare facility has become dependent on the quality of electrical supply. This paper aims at assessing the level of harmonic pollution to a health care facility. The investigation focus on assessing the level of THD on this healthcare facilities. Further discussion includes various ways of reducing harmonics in health care facilities from the study it was found that although there are numerous amount of harmonics producing equipments exist, the total harmonics distortion is still within the recommended level as advise by IEEE 519. There is also clear evidence that active filter using active harmonics conditioner play an important role to this instance.

Keywords

Power Quality, Harmonics, THD, Healthcare facility

1. Background and Introduction

The power quality has emerged as one of a central issue in the electrical supply and distribution in a built environment as a poor power quality might cause various problems. Depending on how severe the quality have been distorted or what sort of equipments/appliances are affected, the consequence of the poor power quality and power quality distortion may range from a minor nuisance trip, loss of critical data, extensive equipment damage to lost of life.

As far as power quality is concerned, there are various definitions of power quality that has been used throughout literatures and practices, but in general many agree that the power quality concern with any power problems manifested in voltage and current or frequency deviations that result in failure or disoperation of customer equipment [10, 12]

In health care facility, one of the most contentious issues in the power quality is harmonics problems which typically exist in significant quantities as a result of the proliferation of state of the art of modern biomedical equipments. Harmonics have become a greater concern as nowadays there are a wide range of biomedical equipments which draw high impact current and power and then inject back the non-sinusoidal current to the electrical supply systems. Among those kind of equipments are Magnetic Resonance Imaging (MRI), Nuclear Magnetic Resonance Imaging (NMRI), Ultra Sound Machine, Computerised-Axial Tomography (CT)

scan, Laser surgery equipment, X-ray machines, Gamma Camera, etc. In addition to the harmonics pollution from biomedical equipment there is also great harmonics coming from IT/Data support system, UPS, Lighting and Lighting Control Systems (e.g. HID, HF control gear), some of HVAC systems as well as Variable Speed Drives (VSD) for vertical/horizontal transportation

The harmonics on the electrical supply system of a health care facility need more attention in comparison to any other sectors in construction industries as the supply system is also used to supply the services critical to survival such as surgical operations, intensive care units (ICU), etc.

Currently, there has been various damaging impact of the harmonic pollution on the facility and equipments that has been reported. The impact varies from the power cut of the emergency supply system caused by inadvertent operation of the under voltage or over voltage relays to the impact on the biomedical equipment itself.

Depending upon the type of disturbance which impact on under or over voltage relays, its duration, and the immunity of the equipment to that disturbance, gradual or fast occurring damage to electrical and electronic components may result. A disturbance such as a voltage surge entering the AC power input of biomedical equipment may not be sufficiently mitigated by internal overvoltage and over current protection devices and may propagate through the power supply to other sensitive electronic subsystems and components.

It has been reported that the harmonics on biomedical equipment might cause several problems. The harmonic pollution may result the equipment to read voltage levels incorrectly resulting in incorrect data processing (ones being read like zeros) or stored data [1.3]. Incorrect diagnostic data processing and storage due to poor power quality might alter the control parameters stored in electronic biomedical equipment that has used to diagnose a patient's condition will result a misreporting of the patient's health condition. For instance, the status of a CT system may be misreported via the digital readout. Biomedical equipment such as blood-pressure monitors may display diagnostic data, such as a digital readout or level indicator that disagrees with the patient's prevailing condition. A series of disturbances occurring over the period of a few hours or a few months, for example, may chip away at internal protection devices and electronic components of biomedical equipments, although damage to equipment may be virtually unnoticeable, but intermittent equipment malfunctions

may be noticeable until eventual failure occurs on equipments.

Other harmonics effect might include the malfunctions in biomedical equipment such as distortion of displays due to distorted voltage, altered data [2.4], equipment lockup, control/alarm and malfunction due to Microprocessor malfunction [2, 3]. The effect of harmonics to external environment should also be taken into consideration as excessive Electromagnetic Compatibility (EMC) effects of harmonics' disturbance upon healthcare equipment might cause disturbance and interference to telecommunications systems.

This study investigates the power quality issue in health care facility with main emphasis on harmonics.

2. Aims and Objectives

This paper aims at assessing the level of harmonic pollution in a health care facility in term of harmonic distortion. It is also intended to see how effective an active filter might work to reduce the level of harmonic distortion. Further discussion includes various ways of reducing harmonics in health care facilities.

3. Theoretical Framework

An important measure in addressing harmonic problems is in defining limits to total harmonic voltage and current distortion [7, 8]. Total Harmonic Distortion (THD) is a useful measure as it can help to predict whether a system is likely to experience problems as a result of the harmonic distortion. Total harmonic distortion of voltage THD_v or current THD_i is generally expressed as a ratio or percentage of the fundamental of voltage or current.

So the total harmonics distortion of voltage THD_v

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} V_k^2}}{V_1}$$

While the total harmonics distortion of current THD_i is

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{I_1}$$

I_k and V_k are the currents and voltage at their respective harmonics. I_1 and V_1 is the fundamental value of current and voltage.

For harmonic limits, IEC and IEEE use two principally different approaches. The IEC standards set limits to the amount of emission of individual equipment, whereas the IEEE harmonic standard limits the emission per customer. Under the IEEE standard the responsibility lies with the customer who may decide to install filters instead of buying better equipment. Under the IEC standards the responsibility lies with the manufacturers of polluting equipment. The difference can be traced back to the aim of the documents: the IEEE standard aimed at regulating the connection of large industrial customers, whereas the IEC document mainly aims at small customers that do not have the means to choose between mitigation options. The IEEE 519-1992 Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems [6] provides guidelines from determining what acceptable limits are. The harmonic limits for current depend on the ratio of Short Circuit Current (SCC) at PCC (or how stiff it is) to average Load Current of maximum demand over 1 year. For voltage harmonics, the voltage level of the system is used to determine the limits, as shown in Table 1. At the higher voltages, more customers will be affected, hence, the lower limits.

Table 1. - Voltage Harmonic Limits as per IEEE 519-1992

Bus Voltage	Voltage Harmonic Limit as % of Fundamental
$\leq 69KV$	Individual harmonic = 3.0%, $THD_v = 5.0\%$
$\geq 161KV$	Individual harmonic = 1.0%, $THD_v = 1.0\%$

For low voltage LV system IEEE 519-1992 has set up $THD_v = 3\%$ for Hospitals and Airports.

4. Brief Description of The Facility

Opened December 2007 in England, the health care facility in this case was claimed as one of the largest of its type in Europe, at that time. It is a nine stories newly built specialist cancer centre covering the area of 65,000m². It not only serves the major cancer treatment such as surgery, chemotherapy, radiotherapy, genetherapy, immunotherapy and hormone therapy, but also serve a small amount of complimentary treatments.

As shown on the schematic Figure A.1, the incoming MV supply to site is 11KV system coming from an intake substation which is owned and operated by the trust. The normal system arrangement of MV system is open ring with the open point positioned such that no more than 2 transformers are supplied from a single feeder.

The main LV distributions comprise 3 main distribution boards designated as SBE01, SBE02 and SBE03. These boards are supplied from 3 No of 1.750MVA air cooled D/y transformers via a closed transition transfer switch. Each SBE01, SBE02 and SBE03 distribution boards also provide power supply to a number of VSD-lifts used for vertical transportation of patients, visitors as well as medical staffs. Various states of the arts of biomedical equipments which draw high current and power are also installed such as Gamma Cameras, MRI, CT scanner, and Ultra Sound Machines.

The standby supply system is provided by 3 No of 1.5 MVA standby generators. The standby system is also backed up by emergency supplies to critical systems by the provision of UPS.

SBE01, SBE02 and SBE03 have outgoing circuits of 61, 42 and 93 respectively. Each of SBE distribution board has its own set of PFC capacitor bank with integral Active Harmonic Conditioner (AHC) that could be switched ON and OFF. All main distribution boards SBE01, SBE02 and SBE03 have several outgoing circuits which are used to power various circuits throughout facilities.

5. Experimental Design and Measurement

A Fluke 434 Power Quality Analyser (PQA) fitted with i400s current clamps or i400s flexible AC current probes is used to observe the harmonics spectrum and the level of voltage and current total harmonics distortion, THDv and THDi. As the internal memory of the Fluke 434 PQA is limited, the PQA was linked to a laptop through an optical serial port to enable analysis and data capture directly to the hard drive.

Figure 1 shows an example of reading and observation of harmonics spectrums and total harmonics distortion that was conducted in this facility. Readings and observation were taken between March and April 2009, during normal working hours. Some of the test and investigation was started at 07:00 prior to the first patient treatment session.

Various points throughout the supply systems were tapped with clamp or probe for reading and observation purposes. But for the purpose of this paper, only the results of three major observation points will be reported and discussed which are all located in the incoming supplies of main distribution boards SBE01, SBE02 and SBE03.



(a)



(b)

Figure 1: Example of Harmonics Observation and Reading during the observation period.

6. Results and Findings

As shown on Figure A.1, the SBE01 distribution board did not have significant voltage or current distortion, with the active harmonic conditioner on THDi was 7.1% and THDV was 1.6%, active harmonic conditioner off the level were 11.8% and 1.9% respectively. These values correlated with the THDi readings on the control panel screen of the conditioner. The values were well below the levels recommended by IEEE 519-1992

Once the board incoming section (section A) was opened for inspection it became clear that it would not be possible to install the current clamps without significant personal risk to the engineer carrying out the work. The arrangement was different due to the inclusion of the two bus couplers in the SBE02 switchboard. Therefore no current information was available from SBE02 main incomer. The distribution board has had relatively high voltage distortion, L2 with the conditioner on was the lowest reading at 3.9% and the highest reading with the

filter off was 5.5%. The voltage distortion was mainly caused by the $6n \pm 1$ harmonic current.

On SBE03 the board had THD_i of 19.5% with the filter on and 9.2% with the filter off, THD_v was 1.8% and 2.5% in case the AHC is off. These values did not correlate with the control screen on the conditioner. It has been observed during this investigation and previously that the conditioners reduce the THD_i by approximately 5%. The screen for this conditioner showed a 6% reduction for $L1$ and $L3$ and no reduction for $L2$. The current waveform also became visibly more distorted when the conditioner was switched on. The values are below the planning standard in IEEE 519 (3%) and so it would not be expected that disruption to the operation of the biomedical equipment would occur.

The harmonic spectrum for the three phases showed that the dominant harmonic was the 3rd which for $L2$ was approximately 11%. 5th and 7th were at approximately 5%. The neutral current, as expected, was dominated by the triple-N harmonics. The 3rd harmonic component was 5 times larger than the fundamental. As with SBE 01 the total RMS current (342A) is significantly below the total rating of the board (3600A) and so negative effects would not be expected.

7. Discussion and Conclusion

The present study demonstrates the importance of the power quality of electrical supply system supply of health care facilities. In spite of several existing recommendations and standards for testing medical electrical equipments, there is a lack of standard related to test cases considering the effects of high harmonic.

From the above test and measurement it seems that although the health facility contains a lot of non-linear load, it seems that the power quality still within the range as recommended in the IEEE standard. There is also clear evidence that Active filter using active harmonics conditioner work well in reducing the harmonics pollution in the health care facility. Although active harmonics conditioner might work well in such as the health care facility in this case, the power quality could still be further improved to reduce risks to the patients and to provide better health treatment.

Various methods for power quality improvement have been recommended as a result from previous research [10, 11, 12]. Apart from the above solution, there are still handful approaches to limit harmonic levels that have been reported on previous study. These range from reducing the harmonics generated by equipment to installing large filters in building wiring systems. Some approaches use passive filters or special transformers, while others use active current shaping circuits. Selection

of a method suitable for a particular case becomes a complicated decision making process, the complication normally arises from the difficulty of predicting how a filter will perform and what side effects may be created in a specific system application. Passive filters might also be supplementary solution. Passive Filters can be applied to other equipments producing the significant harmonics, such as on the input of VSDs on Lifts. The filters are designed to block frequencies the drive generates to prevent them from being passed back into the electrical supply system. However there is still high risk of overload as well as the risk of introduction of new resonances that might exist.

Tackling harmonics by reducing the level of harmonics of at their source by limiting harmonics distortion from harmonics generating equipments has been argued as one of the most effective ways in reducing the level of harmonics pollution in general power systems [10, 12]. This might be a sound solution for health care facility as the health care equipment could be chosen as such that only equipment with the lowest level of harmonics distortion are installed. However, it is apparently that initial cost of acquiring such equipment might have become a barrier.

Other solution which might increase the immunity of the healthcare electrical supply systems to harmonics is from the improvement on supply transformer as well as from the conductors. De-rating of transformers or over sizing the transformers, giving a transformer an appropriate K-Factor rating, as well as oversizing the neutral conductor to account for additional heating and load loss as a result of harmonics might be improve the immunity of the electrical power supply systems. However, the larger conductors to oversize transformers as well as neutral might be a barrier in implementing it and therefore might not necessarily be an economic solution.

Thus, harmonics existence in the electrical supply systems of health care facility is already evidence and always become part of the systems. However evidence also shows that there is various ways of mitigating it. Achieving the limits as stated in the standard could still be achieved.

Acknowledgement

The Authors want to thank to Mr John McKenna for conducting the measurements on site.

References

- [1]. De Keulenaer, Hans, Power Quality & Utilisation Guide, Leonardo Energy, 2006

[2]. Heriakian, Isabelle, Power quality critical sectors: Power Quality for healthcare facilities, Leonardo Energy, 2009.

[3]. Heriakian, Isabelle, Power quality critical sectors: Power Quality in hospital , Leonardo Energy, 2009

[4]. Ramos, MC Giacco and Tahan, CM Vieira, An Assessment of the Electric Power Quality and Electrical Installation Impacts on Medical Electrical Equipment Operations at Health Care Facilities. American Journal of Applied Sciences 6 (4): 638-645, 2009ISSN 1546-9239

[5]. EN 50160:2007, Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution networks. British Standard Institution (BSI) BS EN 50160 is the British Standard version of The European Standard EN 50160:2007

[6]. EN 61000-4-30-2003 Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods. This is the EN version of IEC 61000-4-30

[7]. EN 61000-3-2-2006 Electromagnetic compatibility (EMC) Part 3-2: Limits — Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)

[8] IEEE 519-1992 Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems

[9]. IEC 61000-4-7 Testing and measurement techniques, Section 7: General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto.

[10]. Key, T and I. S. Lai, "Cost and Benefits of Harmonic Current Reduction for Switch-Mode Power Supplies in a Commercial Building," in Con! Rec. of IEEE IAS Annual Mtg., Orlando, FL, Oct. 1995, pp. 1101-1108.

[11]. Lai, S. and T. S. Key, "Cost Effectiveness of Harmonic Mitigation Equipment for Commercial Office Buildings," IEEE IAS Annual Mtg., San Diego, CA, Oct. 1996.

[12]. Jovanovic, M.M and D. E. Crow, "Merits and Limitations of Full-Bridge Rectifier with LC Filter in Meeting IEC 1000-3-2 Harmonic-Limit Specifications," in Con! Rec. of Appl. Pwr Electr. Con!, Dallas, TX, Mar. 1991, pp. 415-422

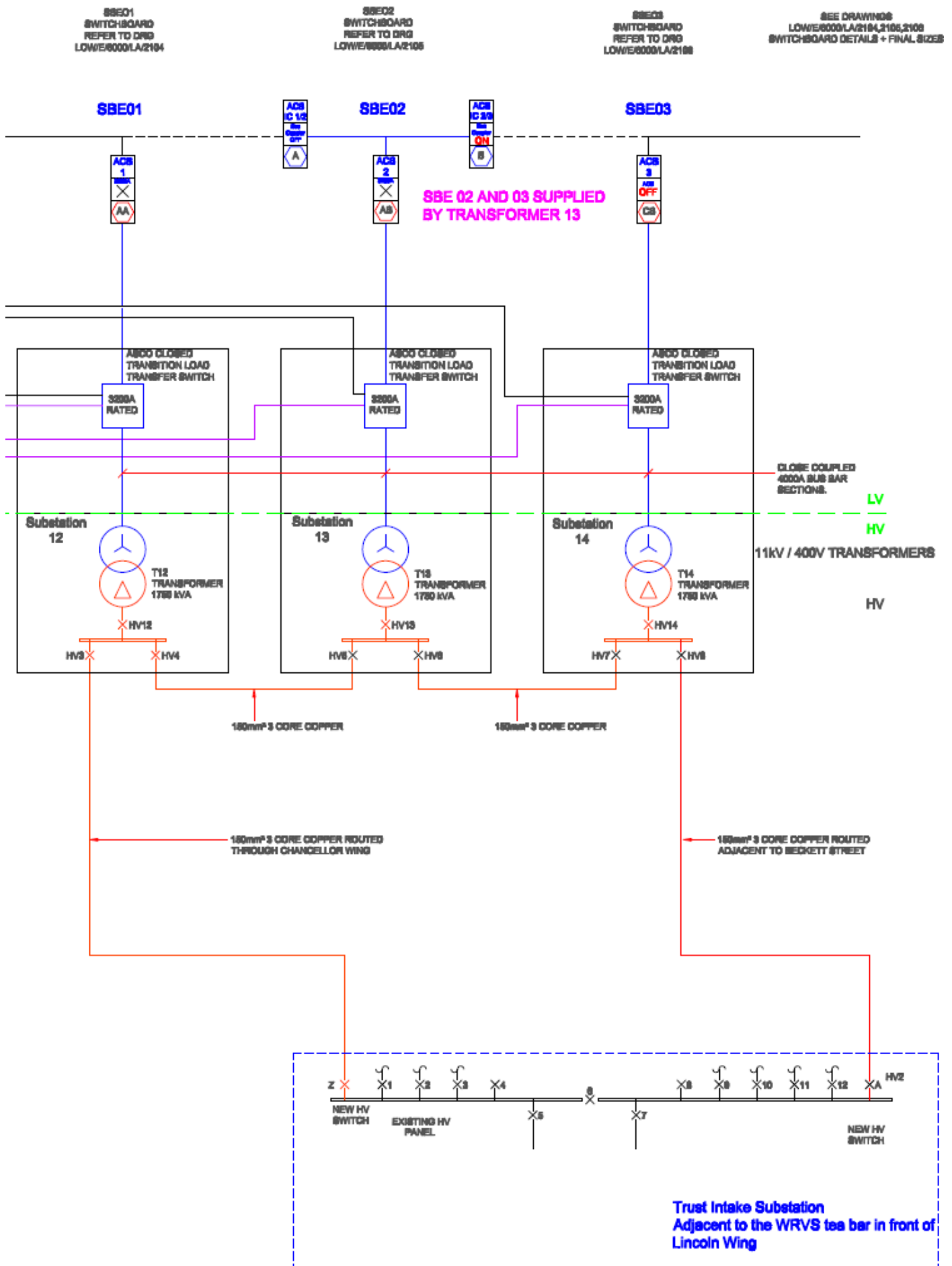
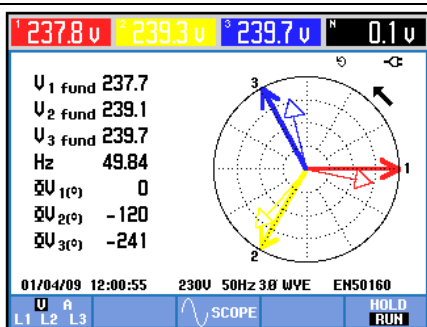
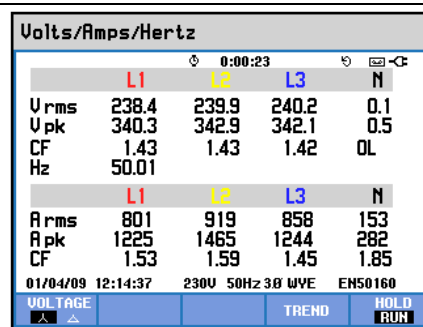


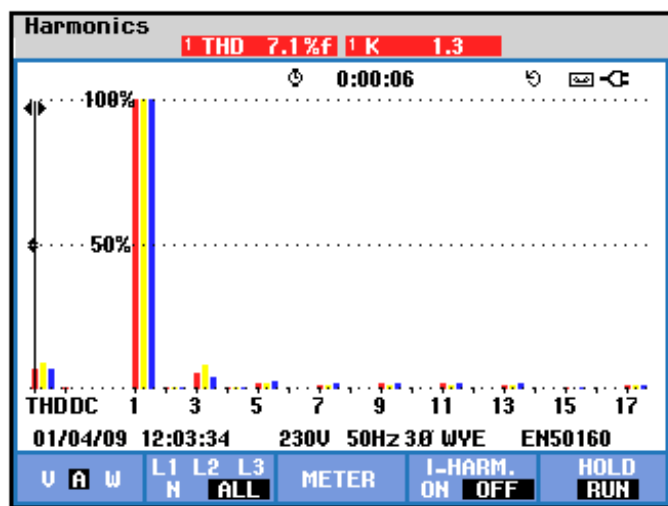
Figure A.1. HV Schematic of the system Showing SBE01, SBE02, SBE03



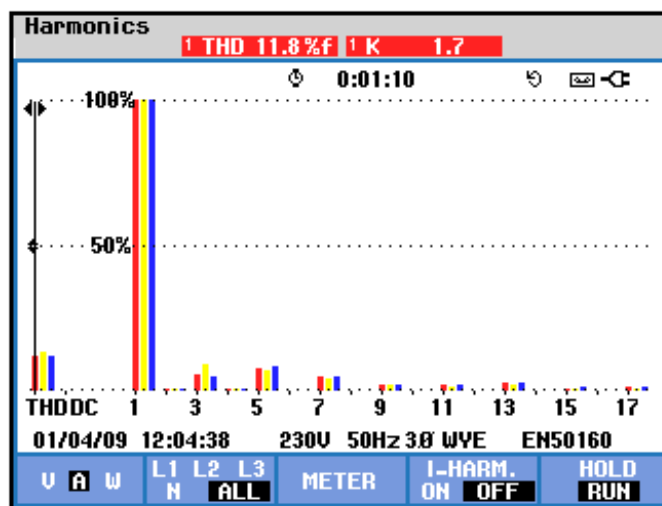
(a) Phasor diagram confirms PQA is connected correctly



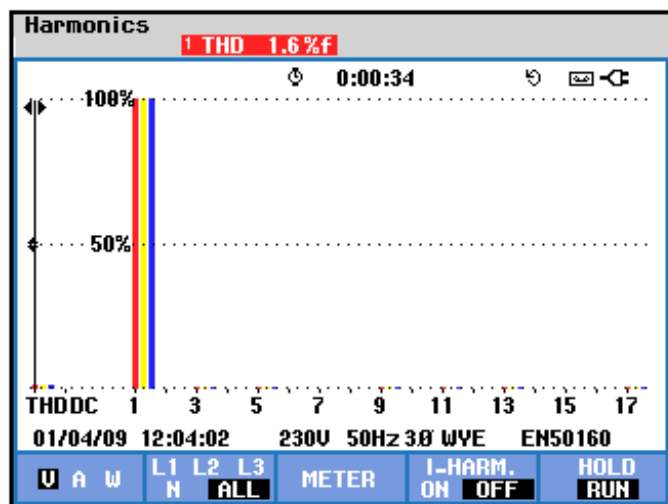
(b) Simple View of PQA



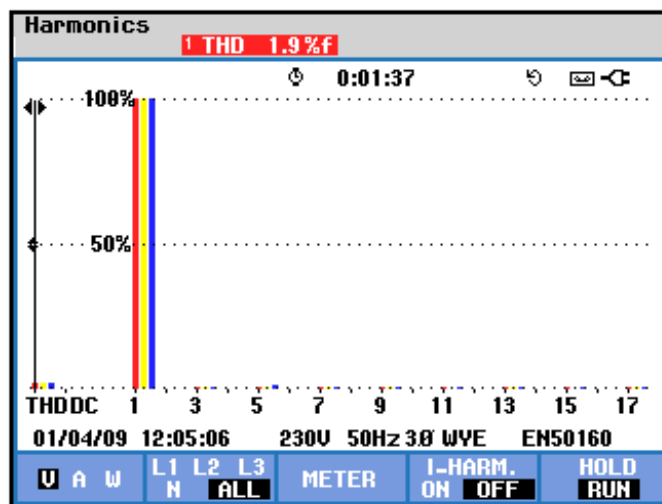
(c) $THD_i = 7.1\%$ of the fundamental with the Active Harmonic Conditioner ON



(d) $THD_i = 11.8\%$ of the fundamental with the active harmonic conditioner OFF

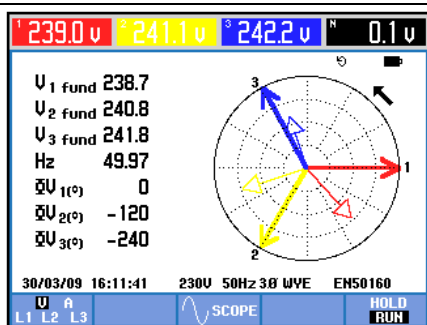


(e) $THD_v = 1.6\%$ of the fundamental with the Active Harmonic Conditioner ON

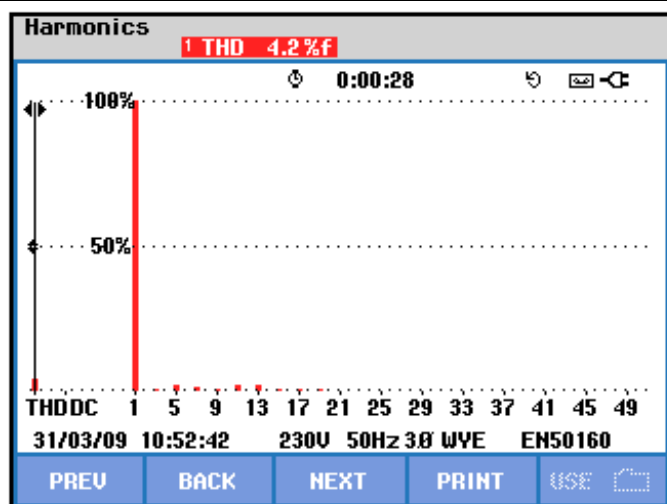


(f) $THD_v = 1.9\%$ of the fundamental with the Active Harmonic Conditioner ON

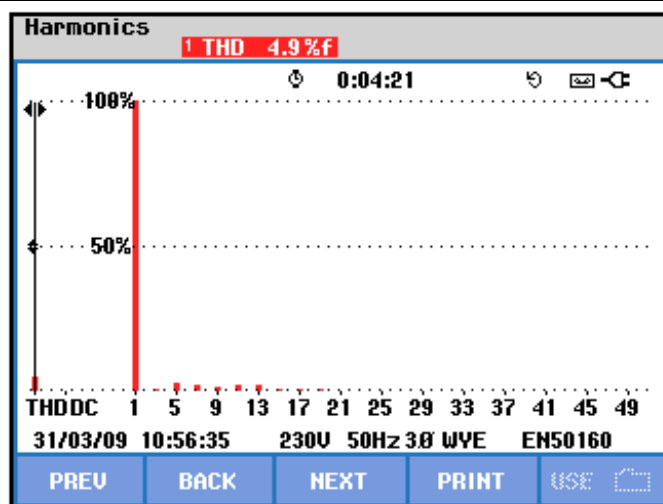
Figure A.2: Result of THD_i and THD_v at SBE01 Incoming Supply with Active Harmonic Conditioner is ON and OFF



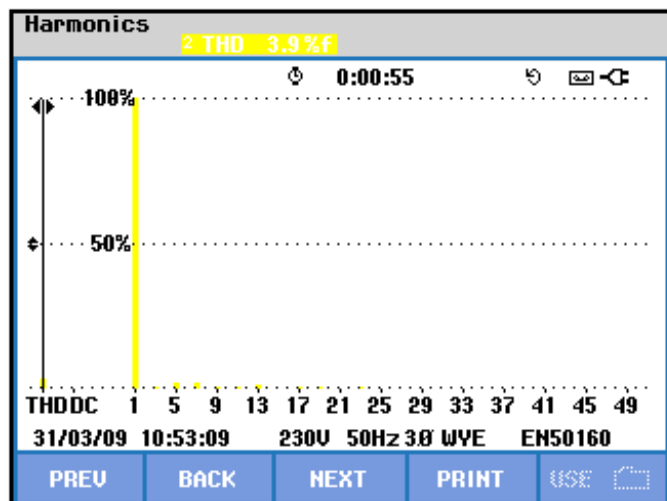
(a) Phasor diagram confirms PQA is connected correctly



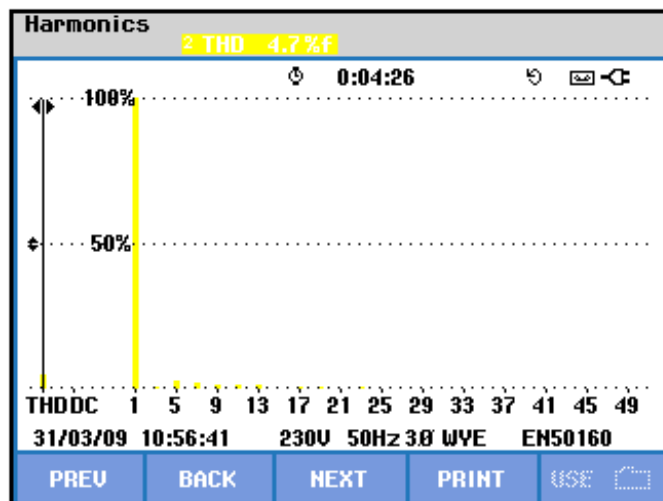
(b) $THD_v = 4.2\%$ of the fundamental with the Active Harmonic Conditioner ON – L1



(d) $THD_v = 4.9\%$ of the fundamental with the active harmonic conditioner OFF- L1

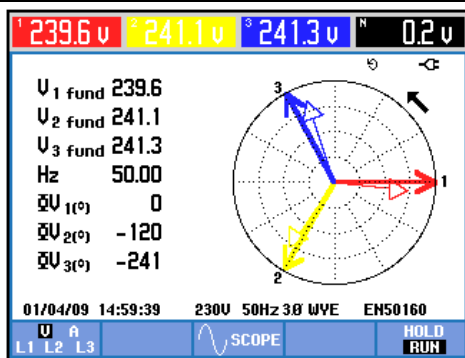


(e) $THD_v = 3.9\%$ of the fundamental with the Active Harmonic Conditioner ON- L2

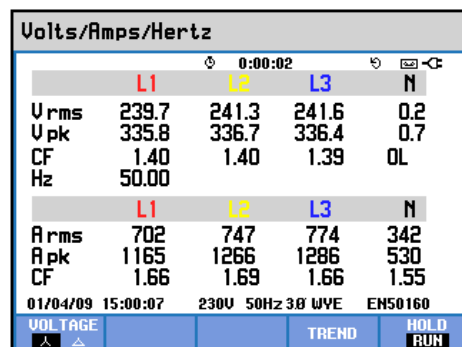


(f) $THD_v = 4.7\%$ of the fundamental with the Active Harmonic Conditioner ON-L2

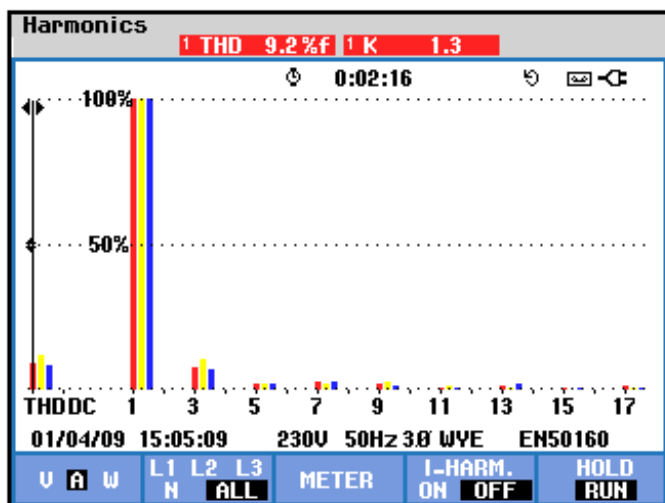
Figure A.3: Result of THD_v at SBE02 Incoming Supply with Active Harmonic Conditioner is ON and OFF



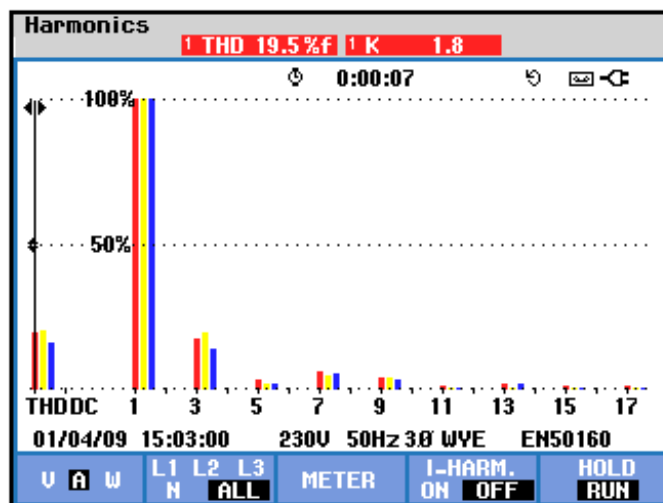
(a) Phasor diagram confirms PQA is connected correctly



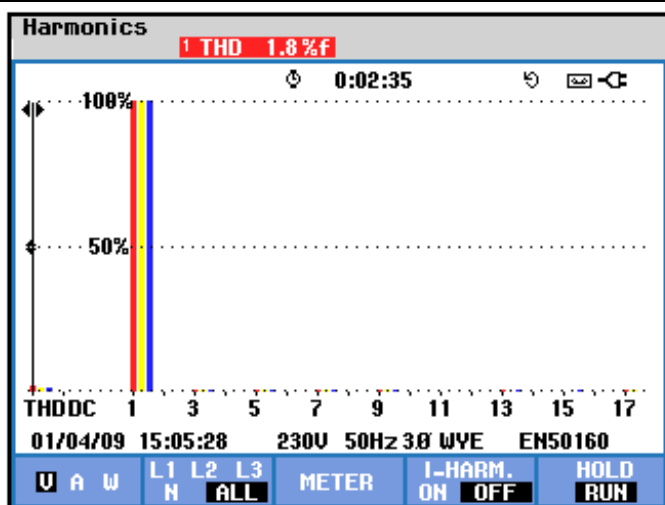
(b) Simple View of PQA



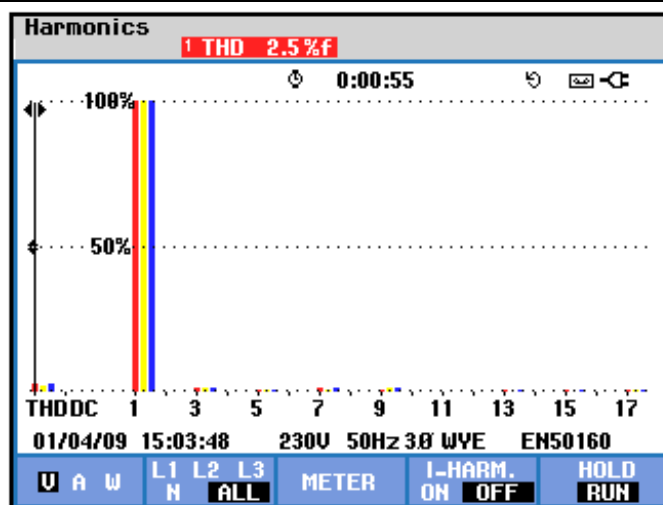
(c) $THD_i = 7.1\%$ of the fundamental with the Active Harmonic Conditioner ON



(c) $THD_i = 19.5\%$ of the fundamental with the active harmonic conditioner OFF



(e) $THD_v = 1.8\%$ of the fundamental with the Active Harmonic Conditioner ON



(f) $THD_v = 2.5\%$ of the fundamental with the Active Harmonic Conditioner OFF

Figure A.4: Result of THD_v at SBE03 Incoming Supply with Active Harmonic Conditioner is ON and OFF

PENGUNAAN ABU SERABUT KELAPA DENGAN PEMBAKARAN 800⁰ DAN 1000⁰ CELCIUS SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN PADA BETON

Ade Lisantono^{1,*}, Jap Yovita Natalie²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jalan Babarsari No.44, Yogyakarta 55281

Telp. (0274) 487711

E-mail: adelisantono@mail.uajy.ac.id, japyovitanatalie96@gmail.com

^{*)} Corresponding author

ABSTRAK

Limbah dapat dimanfaatkan menjadi suatu bahan yang dapat digunakan untuk pengembangan teknologi beton. Salah satu bahan yang jarang dimanfaatkan sebagai bahan tambah pembuatan beton adalah abu serabut kelapa (ASK). Abu serabut kelapa berasal dari pengolahan limbah serabut kelapa yang dibakar dalam suhu tertentu kemudian dimanfaatkan sebagai bahan substitusi pada beton. Penelitian ini mempelajari pengaruh abu serabut kelapa yang dibakar pada suhu 800°C dan 1000°C sebagai bahan substitusi semen pada beton. Variasi substitusi kadar abu serabut kelapa yang digunakan sebesar 0% (beton normal sebagai kontrol), 3%, dan 6% dari berat semen. Benda uji yang digunakan berupa silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Sifat mekanik beton yang diuji adalah kuat tekan dan modulus elastisitas. Pengujian sifat mekanik tersebut dilakukan pada saat umur beton 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan beton tertinggi dicapai pada spesimen dengan pembakaran serabut kelapa pada suhu 1000°C dan kadar abu serabut kelapa 3% terhadap berat semen.

Kata Kunci: Abu serabut kelapa, pembakaran pada suhu 800°C dan 1000°C, kuat tekan beton, modulus elastisitas beton.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara agraris memiliki luas areal perkebunan kelapa sebesar 3.566.103 Ha dengan produksi estimasi 2.890.735 Ton pada tahun 2016 (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2016). Serabut kelapa merupakan hasil samping, dan merupakan bagian yang terbesar dari buah kelapa, yaitu sekitar 35 persen dari bobot buah kelapa. Dengan demikian, apabila secara rata-rata produksi buah kelapa per tahun adalah sebesar 2,8 juta ton, maka berarti terdapat sekitar 0,98 juta ton serabut kelapa yang akan dihasilkan.

Pada umumnya serabut kelapa sebagai limbah buah kelapa dibuat untuk alat rumah tangga. Saat ini limbah serabut kelapa juga dimanfaatkan untuk pengembangan teknologi beton. Serabut kelapa apabila dibakar pada suhu tertentu akan menghasilkan Abu Serabut Kelapa (ASK) dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan substitusi pada beton. Studi tentang pemanfaatan abu serabut kelapa pada beton sudah dilakukan oleh beberapa peneliti (Usrina et al., 2014; Sanjay dan Ranjeev, 2015; Anifowoshe dan Nwaiwu, 2016). Namun penelitian tersebut pembakaran abu serabut kelapanya terbatas sampai pada suhu 700⁰ Celcius. Bayuaji et al. (2016) juga melakukan penelitian penggunaan abu serabut kelapa yang dibakar pada suhu 600⁰ Celcius dan dicampur dengan abu terbang untuk menggantikan semen pada beton. Dengan demikian masih dibutuhkan studi untuk mengetahui pengaruh abu serabut kelapa dengan pembakaran suhu diatas 700⁰ Celcius pada sifat mekanik beton. Oleh karena pada penelitian sebelumnya pembakaran serabut kelapa sampai pada suhu 700⁰ Celcius, maka pada penelitian ini akan dilakukan pembakaran serabut kelapa dengan suhu 800⁰ Celcius dan 1000⁰ Celcius.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Apa saja kandungan kimia yang terkandung didalam abu serabut kelapa dari masing-masing suhu pembakaran (800°C dan 1000°C) ?
2. Bagaimana pengaruh variasi penggunaan abu serabut kelapa terhadap sifat mekanik beton (kuat tekan beton dan modulus elastisitas) ?
3. Bagaimana pengaruh perbedaan suhu pembakaran abu serabut kelapa terhadap sifat mekanik beton (kuat tekan beton dan modulus elastisitas) ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kandungan kimia yang terkandung didalam abu serabut kelapa untuk masing-masing suhu pembakaran yaitu 800°C dan 1000°C.
2. Mengetahui pengaruh variasi penggunaan abu serabut kelapa terhadap sifat mekanik beton (kuat tekan beton, dan modulus elastisitas).

- Mengetahui pengaruh perbedaan suhu pembakaran abu serabut kelapa terhadap sifat mekanik beton (kuat tekan beton, dan modulus elastisitas).

1.4 Tinjauan Pustaka

Ushrina et al. (2014) penggunaan abu serabut kelapa pada campuran beton dengan menggantikan 1,5% dan 3% semen dari volume beton meningkatkan nilai kuat tekan beton sebesar 4,01% dan 0,36% pada umur 28 hari menjadi 23,32 MPa dan 22,50 MPa dari nilai beton normal. Sedangkan pada nilai kuat tarik belah beton mengalami penurunan kekuatan sebesar 3,54% dan 5,46% pada umur 28 hari.

Sanjay dan Ranjeev (2015) menggunakan temperatur pembakaran 600°C hingga 700°C, penggunaan abu serabut kelapa yang paling menonjol dengan menggantikan 5% semen dari volume beton meningkatkan kuat tekan beton sebesar 59,25 MPa pada umur 90 hari. Kuat tekan dari beton abu serabut kelapa meningkat sesuai dengan masa perawatan benda uji. Nilai slump menurun dengan meningkatnya persentase penambahan abu serabut kelapa.

Anifowoshe dan Nwaiwu (2016) menggunakan abu serabut kelapa untuk penggantian semen dengan temperatur pembakaran antara 600°C sampai 700°C hingga menjadi abu dan lolos saringan 150. Dari pengujian tersebut didapatkan kuat tekan beton sebesar 23,91 MPa dengan umur 7 hari, 25,97 MPa dengan umur 14 hari, 28,81 MPa dengan umur 28 hari, 30,15 MPa dengan umur 42 hari, dan 31,15 MPa dengan umur 63 hari.

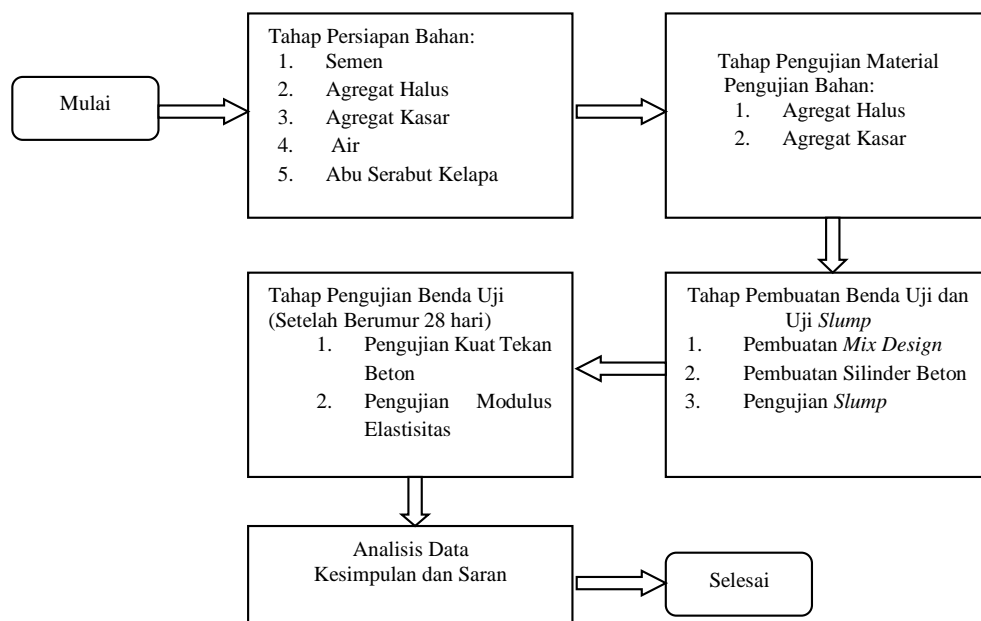
Bayuaji et al. (2016) melakukan penelitian penggunaan abu serabut kelapa yang dibakar dengan suhu 600°C dan dicampur dengan abu terbang untuk menggantikan semen dalam beton. Hasilnya menunjukkan bahwa komposisi 25% abu serabut kelapa dan 5% abu terbang memberikan kekuatan yang optimum pada penelitian tersebut.

1.5 Metodologi Penelitian

Material yang digunakan berupa agregat kasar yang berdiameter ≤ 20 mm yang berasal dari Clereng, agregat halus berdiameter antara 0,125 – 0,5 mm yang berasal dari Sungai Progo, semen yang digunakan PPC (Pozollan Portland Cement) merk Gresik, air yang digunakan berasal dari Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Sedangkan serabut kelapa yang digunakan berasal dari pengrajin sapu ijuk di Kulon Progo, Yogyakarta kemudian dibakar dengan temperatur pembakaran 800°C dan 1000°C di Politeknik ATMI Surakarta hingga menjadi abu. Abu serabut kelapa kemudian disaring hingga lolos saringan Nomor 200 dan variasi abu yang digunakan 0% (beton normal sebagai kontrol), 3%, dan 6% terhadap berat semen, pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton dilakukan setelah umur beton mencapai 28 hari, keseluruhan benda uji berupa silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 18 buah.

Kuat tekan rencana sesuai dengan *mix design* yang telah dibuat sebesar 25 MPa. Secara garis besar rancangan penelitian dapat dilihat pada bagan alir seperti diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir rancangan penelitian

2. PEMBAHASAN

2.1 Pengujian Abu Serabut Kelapa

Pengujian abu serabut kelapa diambil berat masing-masing ± 200 gram. Kandungan kimia yang terkandung dalam abu serabut kelapa ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Abu Serabut Kelapa

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji	
			ASK 800	ASK 1000
1	Silikat Total (SiO ₂)	%	26,47	30,45
2	Alumunium (Al)	mg/kg	9580,400	5916,782
3	Besi (Fe)	mg/kg	63161,061	45892,858
4	Natrium (Na)	mg/kg	176815	339,038
5	Magnesium (Mg)	mg/kg	9516,635	12348,886
6	Kalsium (Ca)	mg/kg	31813,843	6020,331
7	Kalium (K)	mg/kg	82925	155794
8	Kadar Air	%	4,09	4,63
9	Kadar Lemas	%	3,10	3,62

2.2 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM) merk ELE (lihat Gambar 2). Jumlah sampel yang diuji sebanyak 3 buah benda uji untuk setiap variasi dengan total 18 benda uji.



Gambar 2. Pengujian Kuat Tekan Beton

Berikut hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat di Tabel 2 serta grafik perbandingan kuat tekan rata-rata beton ASK pada Gambar 3 dibawah ini.

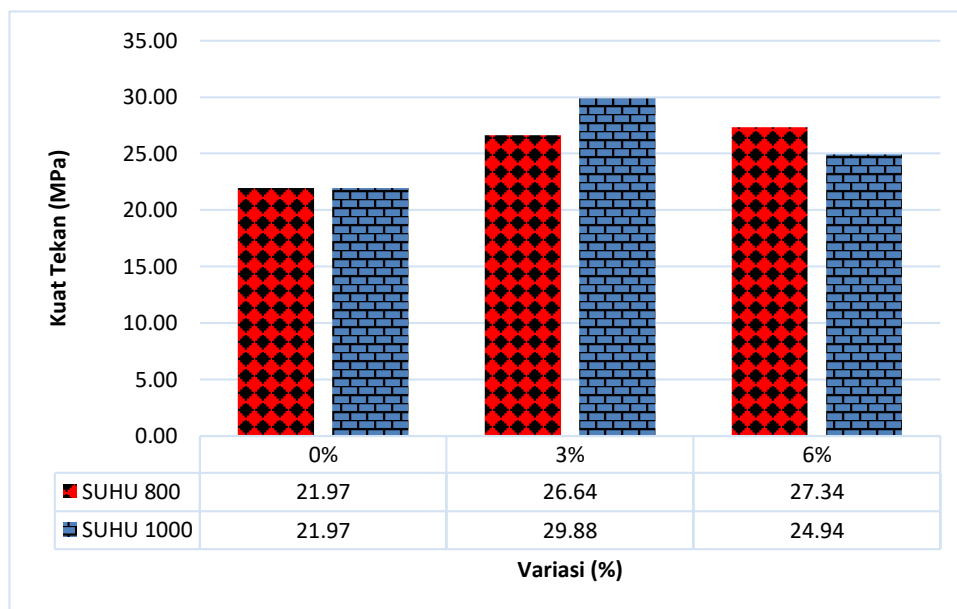
Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode	Nomor Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Kenaikan Terhadap Beton Normal (MPa)	Persentase Kenaikan Terhadap Beton Normal (%)
BN	1	25,968	21,965	--	--
	2	18,108			
	3	22,012			
	4	21,336			
	5	19,891			
	6	24,476			
ASK 3%	1	16,959*	26,641	4,676	21,286

Kode	Nomor Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Kenaikan Terhadap Beton Normal (MPa)	Persentase Kenaikan Terhadap Beton Normal (%)
Suhu 800	2	26,968			
	3	26,314			
ASK 6% Suhu 800	1	28,329	27,341	5,375	24,472
	2	23,984			
	3	29,709			
ASK 3% Suhu 1000	1	27,047	29,877	7,912	36,020
	2	31,313			
	3	31,271			
ASK 6% Suhu 1000	1	26,176	24,939	2,974	13,539
	2	23,848			
	3	24,792			

Keterangan :

Tanda (*): tidak diperhitungkan



Gambar 3. Perbandingan Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Pada Tabel 2 dan Gambar 3 memperlihatkan bahwa secara umum kuat tekan beton dengan abu serabut kelapa (beton dengan ASK) mempunyai kuat tekan yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan beton tanpa abu serabut kelapa (beton normal). Kuat tekan beton tertinggi terjadi pada spesimen dengan pembakaran serabut kelapa pada suhu 1000⁰ Celcius dan kadar abu serabut kelapa (ASK) 3%, yaitu sebesar 29,877 MPa. Terlihat bahwa kenaikan kuat tekan dibandingkan dengan beton normal sebesar 36,02%. Namun jika kadar abu serabut kelapa (ASK) dinaikkan menjadi 6% terhadap berat semen, maka pada spesimen yang sama (dengan pembakaran serabut kelapa pada suhu 1000⁰ Celcius) terjadi penurunan kuat tekan beton dibandingkan dengan spesimen dengan kadar ASK 3%.

2.3 Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas beton dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Pengujian modulus elastisitas menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) merk Shimadzu UMH-30 (lihat Gambar 4). Jumlah sampel yang diuji sebanyak 3 benda uji untuk setiap variasi dengan total benda 18 benda uji.



Gambar 4. Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Hasil pengujian modulus elastisitas beton dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Kode	Nomor Benda Uji	Modulus Elastisitas (MPa)	Modulus Elastisitas Rata-rata (MPa)	Kenaikan Terhadap Beton Normal (MPa)	Persentase Kenaikan Terhadap Beton Normal (%)
BN	1	21930,872	21195,049	--	--
	2	21041,329			
	3	19491,520			
	4	24222,306			
	5	19595,557			
	6	20888,713			
ASK 3% Suhu 800	1	23950,306	22234,883	1039,834	4,906
	2	23557,196			
	3	19197,147			
ASK 6% Suhu 800	1	26056,913	26056,913	4861,864	22,939
	2	64756,599*			
	3	6606,637*			
ASK 3% Suhu1000	1	22141,858	22439,132	1244,083	5,869
	2	22736,407			
	3	13046,989*			
ASK 6% Suhu1000	1	18720,574	17670,011	-3525,038	-16,631
	2	16619,447			
	3	35784,429*			

Keterangan :

Tanda (*): tidak diperhitungkan

Melihat hasil uji kuat tekan pada beton dengan abu serabut kelapa (beton dengan ASK) secara umum lebih tinggi dari pada beton tanpa ASK (beton normal), maka semestinya modulus elastisitas beton dengan ASK juga lebih tinggi dari pada beton tanpa ASK (beton normal). Namun pada Tabel 3 diperlihatkan bahwa beton dengan ASK mempunyai modulus elastisitas yang lebih tinggi dari beton tanpa abu serabut kelapa (beton normal) kecuali beton dengan ASK 6% dengan suhu pembakaran 1000°C yang mempunyai modulus elastisitas lebih rendah dari pada beton tanpa abu serabut kelapa (beton normal). Hal ini mungkin dikarenakan oleh pemadatan yang kurang sempurna pada silinder dengan ASK 6% dengan suhu pembakaran 1000°C.

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Secara umum kuat tekan beton dengan abu serabut kelapa (beton dengan ASK) mempunyai kuat tekan yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan beton tanpa abu serabut kelapa (normal normal). Kuat tekan beton tertinggi terjadi pada spesimen dengan pembakaran serabut kelapa pada suhu 1000⁰ Celcius dan kadar abu serabut kelapa (ASK) 3%, yaitu sebesar 29,877 MPa. Terlihat bahwa kenaikan kuat tekan dibandingkan dengan beton normal sebesar 36,02%. Namun jika kadar abu serabut kelapa (ASK) dinaikkan menjadi 6% terhadap berat semen, maka pada spesimen yang sama (dengan pembakaran serabut kelapa pada suhu 1000⁰ Celcius) terjadi penurunan kuat tekan beton dibandingkan dengan spesimen dengan kadar ASK 3%.
2. Beton dengan abu serabut kelapa (beton dengan ASK) mempunyai modulus elastisitas yang lebih tinggi dari beton tanpa abu serabut kelapa (beton normal) kecuali pada beton dengan ASK 6% dengan suhu pembakaran 1000⁰C yang mempunyai modulus elastisitas yang lebih rendah dibandingkan dengan beton tanpa abu serabut kelapa (beton normal). Hal ini mungkin dikarenakan oleh pemadatan yang kurang sempurna pada silinder dengan ASK 6% dengan suhu pembakaran 1000⁰C.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala dan Staf Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta atas fasilitas yang disediakan, sehingga pengujian sifat mekanik beton dalam penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.

PUSTAKA

- Anifowoshe, F.A, Nwaiwu, N.E, 2016, The Use of Coconuts Fibre Ash as a Partial Replacement for Cement, *British Journal of Applied Science & Technology*, ISSN:2231-0843, Department of Civil Engineering, Nnamdi Azikiwe University, Awka, Anambra State, Nigeria.
- Bayuaji, R., Kurniawan, R.W., Yasin, A.K., Fatoni, H.A.T., dan Lutfi, F.M.A., 2016, The effect of fly ash and coconut fibre ash as cement replacement materials on cement paste strength, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 128 (2016) 012014.
- Direktorat Jenderal Perkebunan, 2016, *Statistik Perkebunan Indonesia, 2015-2017 Kelapa*, Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian.
- Sanjay, S., Ranjeev, C., 2015, Effect of Coconut Fibre Ash on Strength Properties of Concrete, *Journal of Engineering Research and Applications* ISSN: 2248-9622, Vol. 5 Issue 4, Department of Civil Engineering Jabalpur Engineering College Jabalpur, India.
- Ushrina, N., Karolina, R., Tarigan, J., 2014, Pengaruh Substitusi Abu Serabut Kelapa (ASK) Dalam Campuran Beton, *Jurnal Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara*, Vol. 3 No. 2, Universitas Sumatera Utara, Medan.

PEMODELAN DEMAND PENUMPANG DI BANDAR UDARA FRANS SEDA MAUMERE

J.Dwijoko Anusanto¹, Alfrendo Satriawan Kabupung²

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jalan Babarsari No. 44, Yogyakarta
Telp. 08164222755

² Program Studi Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jalan Babarsari No. 44, Yogyakarta
E-mail: dwiyoko@gmail.com

ABSTRAK

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan metode Analisis Regresi Linier sedangkan pemilihan model terbaik didasarkan pada metode All Possible Regression (APRE) menurut kriteria R^2 dan dengan mempertimbangkan nilai uji statistik model terpilih, yaitu F-Test. Variabel dependent (Y) adalah jumlah penumpang kedatangan dan keberangkatan, sedangkan variabel independent (X) berjumlah 7 yaitu jumlah penduduk (X1), Jumlah Wisatawan (X2), Produk Domestik Regional Bruto atau PDRB (X3), Indeks Pembangunan Manusia atau IPM (X4), Pengeluaran Riil per Kapita (X5), Tenaga kerja Laki-laki (X6), tenaga kerja perempuan (X7). Model demand penumpang yang dihasilkan adalah $Y = 0,0612 X_2 + 2,7364 X_6 - 259.577,3293$ untuk kedatangan, serta $Y = 2,4799 X_6 + -229526,2913$ untuk keberangkatan. Prediksi demand penumpang tahun 2027 adalah sebesar 918.874 penumpang kedatangan dan 830.527 penumpang keberangkatan. Analisis kemampuan pelayanan air side facilities adalah Bandar Udara Frans Seda Maumere sudah tidak mampu melayani dengan baik kedatangan maupun keberangkatan penumpang Bandar Udara Frans Seda Maumere pada tahun 2027 dengan layak

Kata Kunci: pemodelan, demand, regresi linier, APRE

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi merupakan suatu kebutuhan yang sangat penting bagi suatu negara dimana transportasi berperan menghubungkan antara pergerakan bangkitan dan tarikan akibat pemenuhan kebutuhan ekonomi, sosial, budaya, dan politik. Peran transportasi tersebut menjadi sangat vital bagi negara kepulauan seperti Indonesia. Pergerakan antara daerah satu dengan daerah yang lain akan menjadi lebih mudah, aman, nyaman, ekonomis dan efisien bila sarana dan prasarana transportasi yang ada baik darat, laut maupun udara berfungsi sesuai yang direncanakan dengan baik dan berjalan sebagaimana mestinya.

Maumere merupakan ibukota dari Kabupaten Sikka yang terletak di pulau Flores Provinsi Nusa Tenggara Timur. Kabupaten Sikka merupakan daerah kepulauan dengan total luas daratan 1.731,91 km² dengan total jumlah penduduk tahun 2012 sebanyak 306.431 jiwa (BPS Kabupaten Sikka., 2012). Kota Maumere adalah kota terbesar di pulau Flores dan terkait Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) dalam pelaksanaan otonomi khusus daerah Propinsi Nusa Tenggara Timur, kota Maumere akan dijadikan sebagai kota Madya. Kota Maumere memiliki potensi yang cukup besar dalam kegiatan ekonomi, perdagangan, jasa dan pariwisata karena kota Maumere merupakan gerbang utama keluar masuk di Pulau Flores baik melalui udara maupun laut. Selain itu kota Maumere juga sebagai regional hubungan jalur transportasi utama di jalan nasional Flores yang melintasi pulau Flores dari ujung barat Labuan Bajo sampai ke ujung Timur Lantaka. Transportasi udara di kota Maumere memiliki peran yang cukup penting dalam hal menghubungkan Pulau Flores dengan beberapa daerah di propinsi Nusa Tenggara Timur yang tidak dapat di jangkau melalui laut.

Faktor yang mempengaruhi kebutuhan transportasi

Demand penumpang udara berkorelasi dengan populasi wilayah dan motivasi individu untuk melakukan perjalanan (kecenderungan mereka untuk melakukan perjalanan) serta kegiatan social ekonomi dan faktor-faktor yang mendukung perjalanan dan ketersediaan layanan dan infrastruktur terkait. Dalam tingkat lokal dan regional, variabel sosioekonomi/demografi serta arah dan pertumbuhan ekonomi akan memainkan peran utama dalam menentukan jumlah penumpang dalam suatu wilayah atau bandara (Ashford, et al., 2011). Beberapa variabel dari faktor-faktor sosioekonomi yang dianggap berpengaruh terhadap pemodelan demand penumpang pesawat adalah: jumlah penduduk, jumlah wisatawan, Produk Domestik Regional Bruto (PDRB), Indeks Pembangunan Manusia (IPM).

Metode All Possible Regression (APRE)

All Possible Regression (APRE) adalah salah satu metode dalam pemilihan persamaan regresi terbaik dari beberapa alternatif persamaan regresi yang ada. Secara umum metode ini memilih serangkaian susunan variabel penduga (X) terbaik yang memenuhi syarat (contohnya yang memiliki nilai R^2 terbaik) dari beberapa set persamaan

regresi terbaik menurut jumlah variabel penduganya (X). Ada tiga langkah pemilihan persamaan regresi terbaik dengan menggunakan metode APRE. Tahap pertama adalah identifikasi semua model regresi yang mungkin, yang berasal dari semua kemungkinan kombinasi dari variabel penduga (X). Tahap selanjutnya adalah memilih model regresi terbaik berdasarkan jumlah variabel penduganya (X). Sebagai contoh dipilih dua atau tiga model regresi terbaik masing-masing dari daftar model regresi satu variabel X, dua variabel X, tiga variabel X, dan seterusnya. Yang terakhir adalah evaluasi beberapa model yang telah diidentifikasi dalam langkah kedua, sehingga dapat dilihat pengaruh setiap variabel yang muncul dalam model regresi terbaik beserta kenaikan nilai R^2 yang dihasilkan setiap variabel X. Dengan mempertimbangkan hal tersebut, maka persamaan terbaik dapat dihasilkan.

1.2 METODE PENELITIAN

Data

Data yang dibutuhkan adalah jumlah kedatangan dan keberangkatan penumpang di Bandar Udara Frans Seda Maumere serta data sosio-ekonomi dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Maumere, dinas-dinas terkait, dan situs-web terkait.

Tahap Pemodelan

Pemodelan demand penumpang Bandar Udara Fran Seda Maumere dilakukan dengan cara melakukan analisis regresi linier. Tahap yang dilakukan pertama kali adalah mencari hubungan antara variabel terikat (y) dengan setiap variabel bebas (x) dan memastikan bahwa semuanya memiliki hubungan yang linier. Selanjutnya adalah menyusun hubungan tersebut (koefisien korelasi atau r) ke dalam matriks korelasi. Tahap pemodelan dilakukan dengan menentukan persamaan-persamaan yang mungkin dijadikan model terbaik, berdasarkan syarat suatu model yang baik. Metode yang digunakan adalah *All Possible Regression* (APRE), metode ini berfungsi untuk memilih persamaan model terbaik yang dihasilkan analisis regresi, dengan mempertimbangkan parameter uji statistik seperti F-Test.

Prediksi Permintaan Penumpang

Prediksi demand penumpang dilakukan dengan cara memprediksi variabel terbaik hasil pemodelan untuk 10 tahun ke depan, kemudian hasilnya (variabel X) dimasukkan ke dalam persamaan hasil pemodelan tersebut.

Analisis kemampuan bandar udara dilakukan terhadap sisi udara dan darat dengan cara sebagai berikut:

- Air side facilities*, analisis dilakukan dengan cara membandingkan *supply* dan *demand* penumpang hasil prediksi pada 10 tahun yang akan datang. Bila bandar udara sudah tidak mampu lagi menampung demand penumpang pada tahun 2027, maka diperlukan penyesuaian terhadap manajemen penerbangan tetap.
- Land side facilities*, dilakukan dengan membandingkan luas terminal dan tempat parkir hasil hitungan (memakai jumlah penumpang hasil prediksi) dengan luasan eksisting bandar udara Frans Seda Maumere.

2. HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

Hasil Penelitian

Prediksi demand penumpang dilakukan dengan menggunakan model regresi terpilih sebagai acuannya. Variabel X dalam model terpilih akan diprediksi sesuai tahun prediksi (2027) kemudian dimasukkan ke dalam model terpilih untuk mengetahui prediksi demand penumpang pada tahun 2027. Bila prediksi sudah dilakukan, langkah selanjutnya adalah analisis kemampuan bandar udara. Air side facilities dianalisis dengan cara membandingkan *supply* dan *demand* penumpang hasil prediksi pada tahun 2027. Untuk land side facilities, analisis dilakukan dengan cara membandingkan luas terminal dan tempat parkir kendaraan eksisting dengan kondisi demand pada tahun 2027, yaitu hubungannya dengan jumlah penumpang tahunan (annual) ataupun rata-rata penumpang per hari pada tahun 2027 tersebut. Bila bandar udara sudah tidak mampu lagi menampung demand penumpang pada tahun 2027, maka diperlukan penyesuaian terhadap manajemen bandar udara.

Jumlah Penumpang

Jumlah penumpang pesawat yang datang dan berangkat di/dari Bandar Udara Frans Seda Maumere menjadi variabel tak bebas atau dependent variabel (Y) dalam pemodelan ini dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Jumlah kedatangan dan keberangkatan penumpang

Tahun	Kedatangan (orang)	Keberangkatan (orang)
2011	69.638	68.139
2012	62.725	62.827
2013	66.774	65.269
2014	40.370	40.088
2015	72.464	68.548

Sumber: Bandar Udara Frans Seda 2017

Dalam analisis regresi linier, variabel bebas dan tak bebas harus memiliki variabel hubungan yang linier. Dengan demikian perlu dilakukan pengujian dengan variabel analisis regresi atau dapat juga dilakukan dengan

memasukkan data variabel jumlah kedatangan dan keberangkatan penumpang Bandar Udara Frans Seda Maumere (Y) dan berbagai data sosio-ekonomi ke dalam diagram pencar (*scatterplot*).

Matriks korelasi berisi koefisien korelasi (r) dari setiap hubungan, baik variabel hubungan antara variabel bebas dengan variabel tak bebas, maupun antar sesama variabel-variabel bebas. Matriks korelasi berfungsi untuk menunjukkan tingkat hubungan variabel berbagai variabel yang ada, sehingga dapat membentuk alternatif model yang variabel sesuai syarat. Salah satu syarat model yang baik adalah sesama variabel bebas variabel dalam suatu model tidak boleh memiliki koefisien korelasi (r) yang besar. Matriks variabel korelasi untuk penumpang kedatangan dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan variabel penumpang keberangkatan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Matriks korelasi kedatangan penumpang

	Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
Y	1							
X1	0,261	1						
X2	-0,197	-0,565	1					
X3	-0,222	-0,499	0,993	1				
X4	-0,235	-0,554	0,995	0,998	1			
X5	-0,343	-0,663	0,982	0,973	0,984	1		
X6	0,916	0,592	-0,281	-0,261	-0,297	-0,445	1	
X7	0,611	0,401	-0,063	0,010	-0,019	-0,172	0,761	1

Dimana:

X1 = jumlah penduduk

X2 = jumlah wisatawan,

X3 = Produk Domestik Regional Bruto (PDRB)

X4 = Indeks Pembangunan Manusia (IPM)

X5 = Pengeluaran Riil per Kapita

X6 = jumlah tenaga kerja laki-laki

X7 = jumlah tenaga kerja perempuan

Tabel 3. Matriks korelasi keberangkatan penumpang

	Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
Y	1							
X1	0,302	1						
X2	-0,278	-0,565	1					
X3	-0,307	-0,499	0,993	1				
X4	-0,320	-0,554	0,995	0,998	1			
X5	-0,421	-0,663	0,982	0,973	0,984	1		
X6	0,913	0,592	-0,281	-0,261	-0,297	-0,445	1	
X7	0,561	0,401	-0,063	0,010	-0,019	-0,172	0,761	1

Matriks koefisien korelasi menunjukkan hubungan setiap variabel dalam model kedatangan penumpang. Persyaratan model yang baik adalah dalam suatu model tidak boleh mengandung variabel-variabel bebas yang memiliki korelasi tinggi (kolonieritas). Dengan demikian, di dalam suatu persamaan tidak boleh tersusun variabel-variabel bebas (X_i) yang berkorelasi lebih dari 0,75. Alternatif persamaan yang mungkin terbentuk adalah persamaan yang tidak mengandung unsur variabel secara bersama-sama antara:

X2-X3 ; X2-X4 ; X2-X5 ; X3-X4 ; X3-X5; X4-X5; X6-X7

Selanjutnya dapat ditentukan alternatif model mana saja dari hasil analisis regresi linier yang memenuhi syarat untuk melewati proses seleksi dan masuk ke dalam proses pemilihan model terbaik dengan menggunakan metode *All Possible Regression* (APRE).

Tabel 4. Alternatif model kedatangan penumpang

No.	Model Persamaan	R ²	r	F Hitung	T Hitung
1	$Y = -260.511 + 1,030 X_1$	0,0680	0,2608	0,2189	0,4679
2	$Y = 66.745 - 1,8588 X_2$	0,0389	0,2217	0,1215	-0,3486
3	$Y = 82.448 - 0,0067 X_3$	0,0491	0,2171	0,1551	-0,3938
4	$Y = 268.115 - 3.386 X_4$	0,0553	0,2352	0,1758	0,7032
5	$Y = 242.692 - 24,2116 X_5$	0,1178	0,3433	0,4009	-0,6332
6	$Y = -251.892 - 2,6829 X_6$	0,8398	0,9164	15,734	3,9667
7	$Y = 19.868 - 0,505 X_7$	0,3737	0,6113	1,7902	1,3380

Tabel 5. Alternatif model keberangkatan penumpang

No.	Model Persamaan	R ²	r	F Hitung	T Hitung
1	$Y = -286.381 + 1,1085 X_1$	0,0914	0,3023	0,3018	0,5493
2	$Y = -66.669 + 0,2432 X_2$	0,0774	0,3067	0,2519	-0,5019
3	$Y = 86.714 - 0,0086 X_3$	0,0940	0,3067	0,3114	-0,5581
4	$Y = 320.777 - 4,276 X_4$	0,1025	0,3202	0,3427	0,5993
5	$Y = 266.108 - 27,546 X_5$	0,1772	0,4209	0,6461	-0,8038
6	$Y = -229,526 + 2,4799 X_6$	0,8332	0,9128	14,995	3,8724
7	$Y = 24.793 - 0,430 X_7$	0,3141	0,5605	1,3742	1,1722

Pemilihan Model Regresi Terbaik

Pemilihan model regresi terbaik dilakukan dengan menggunakan metode All Possible Regression (APRE). Metode APRE yang digunakan pada penelitian ini menggunakan R² sebagai kriteria model regresi terbaik. Dari analisis regresi terbentuk 29 model masing-masing untuk kedatangan dan keberangkatan penumpang Bandar Udara Frans Seda Maumere, dengan jumlah variabel X tertinggi dalam alternatif model adalah tiga. Model-model regresi tersebut kemudian diseleksi lagi sehingga menjadi lebih sedikit jumlahnya. Proses seleksi dilakukan dengan membagi persamaan terbentuk menjadi tiga kelompok berdasarkan jumlah variabel bebasnya seperti pada Tabel 6. Kemudian dipilih dua atau tiga model terbaik dari setiap kelompok, dengan R² sebagai kriteria pemilihannya. Dengan demikian, dipilih persamaan yang memiliki R² terbesar dari setiap kelompok. Dari daftar model terpilih tersebut kemudian dipilih satu model yang terbaik berdasarkan nilai koefisien determinasi (R²) dan peningkatannya.

Tabel 6. Pembagian kelompok APRE

Kelompok	Jumlah Variabel Bebas
A	1
B	2
C	3

Model Kedatangan Penumpang

Kedatangan penumpang yang terpilih berdasarkan kelompok adalah seperti pada tabel berikut.

Tabel 7. Model APRE kedatangan terpilih berdasarkan kelompok

Kelompok	Variabel Terbaik Pers Reg.	R ²
A	$Y = f(X_6)$	0,839
B	$Y = f(X_2, X_6)$	0,843
	$Y = f(X_5, X_6)$	0,845
	$Y = f(X_1, X_6)$	0,961
C	$Y = f(X_1, X_5, X_6)$	0,983
	$Y = f(X_1, X_3, X_6)$	0,984
	$Y = f(X_1, X_4, X_6)$	0,985

Tabel 7 berisi model-model regresi terbaik untuk setiap kelompok, yang dipilih berdasarkan nilai koefisien determinasinya (R²). Dalam tabel tersebut terlihat bahwa nilai R² naik dari 0.839 menjadi 0.961 pada model terbaik kelompok A ke model terbaik kelompok B, selanjutnya nilai R² naik dari 0.961 menjadi 0.985 pada model terbaik kelompok B ke model terbaik kelompok C. Walaupun berdasarkan nilai R² kelompok C lebih baik, namun tidak berarti kelompok C adalah kelompok dengan model terbaik. Peningkatan nilai R² dari kelompok B ke kelompok C sangat kecil bila dibandingkan dengan peningkatan nilai R² dari kelompok A ke kelompok B. Dengan demikian model terbaik adalah salah satu model yang berada pada kelompok B yang tentunya harus memiliki syarat nilai F hitung > F tabel.

Kelompok B terdiri dari tiga model. Dari ketiga model ini model $Y = f(X_2, X_6)$ dapat menjelaskan semua variabelnya dengan jelas. Pada kelompok A terlihat bahwa variabel X₆ berpengaruh besar dalam nilai R² bila dibandingkan dengan variabel bebas lainnya apabila berdiri sendiri yaitu 0.839. Kemudian variabel X₆ bergabung dengan variabel X₂, sehingga model $Y = f(X_2, X_6)$ memiliki R² sebesar 0.843. Terlihat bahwa model ini memiliki nilai yang baik, sehingga dapat menjelaskan model $Y = f(X_1, X_6)$ secara utuh. Dengan demikian, model demand kedatangan penumpang yang terpilih adalah: $Y = 0,0612 X_2 + 2,7364 X_6 - 259.577,32$. Persamaan ini mempunyai nilai koefisien determinasi (R²) sebesar 0.843 yang berarti bahwa 84,3% dari variasi kedatangan penumpang dapat diwakili oleh persamaan ini. Nilai F hitung = 5.4004 > F tabel = 4.882 (derajat kebebasan 0,17), dapat diartikan bahwa 83 % variasi yang terjadi pada kedatangan penumpang dipengaruhi oleh Jumlah Wisatawan dan Tenaga Kerja Laki-laki.

Model Keberangkatan Penumpang

Proses pemodelan keberangkatan penumpang adalah sama seperti proses kedatangan. Kedatangan penumpang yang terpilih berdasarkan kelompok adalah seperti pada tabel berikut.

Tabel 8. Model APRE keberangkatan terpilih berdasarkan kelompok

Kelompok	Variabel Terbaik Pers Reg.	R ²
A	$Y = f(X_6)$	0,8333
B	$Y = f(X_3, X_6)$	0,8383
	$Y = f(X_1, X_6)$	0,9204
C	$Y = f(X_1, X_3, X_6)$	0,9705
	$Y = f(X_1, X_4, X_6)$	0,9710

Tabel 8 berisi model-model regresi terbaik untuk setiap kelompok, yang dipilih berdasarkan nilai koefisien determinasinya (R²). Dalam tabel tersebut terlihat bahwa nilai R² naik dari 0.8333 menjadi 0.9204 pada model terbaik kelompok A ke model terbaik kelompok B, selanjutnya nilai R² naik dari 0.9204 menjadi 0.9710 pada model terbaik kelompok B ke model terbaik kelompok C. Walaupun berdasarkan nilai R² kelompok C lebih baik, namun tidak berarti kelompok C adalah kelompok dengan model terbaik dan berdasarkan peningkatan nilai R² kelompok A ke kelompok B memiliki model terbaik juga tidak berarti kelompok B adalah model terbaik, hal ini dikarenakan model persamaan pada kelompok B dan C tidak memenuhi syarat nilai F hitung > F tabel, sehingga model terbaik yang akan digunakan adalah dari kelompok A yang memiliki nilai R² yang baik nilai F hitung > F tabel. Kelompok A memiliki satu model saja yaitu $Y = f(X_6)$. Dari model ini dapat dijelaskan variabelnya dengan jelas. Pada kelompok A terlihat bahwa variabel X₆ berpengaruh besar dalam nilai R² yaitu 0.8333 Walaupun ia berdiri sendiri jika dibandingkan dengan nilai R² variabel bebas yang lain dan memiliki syarat nilai F hitung > F tabel. Dengan demikian, model demand keberangkatan penumpang yang terpilih adalah $Y = 2,4799 X_6 + -229526,29$. Persamaan ini mempunyai nilai koefisien determinasi (R²) sebesar 0.8333 yang berarti bahwa 83,33% dari variasi keberangkatan penumpang Bandar Udara Frans Seda Maumere dapat diwakilkan dalam persamaan ini. Nilai F hitung = 14.9959 > F tabel = 10,13 (derajat kebebasan 5), dapat diartikan bahwa 95 % variasi yang terjadi pada keberangkatan penumpang penumpang dipengaruhi oleh jumlah Tenaga Kerja Laki-laki.

Model Demand Penumpang

Prediksi dilakukan terhadap variabel-variabel X pada model terbaik untuk 10 tahun ke depan, baik untuk model kedatangan maupun keberangkatan penumpang. Hasil prediksi variabel X tersebut kemudian dimasukkan ke dalam model demand penumpang terpilih untuk mendapatkan prediksi demand penumpang pada tahun 2027. Tahap pertama adalah mencari proyeksi jumlah wisatawan pada tahun 2027 menggunakan persamaan $y = 8546.2x - 2.228,2$ dimana y = Jumlah wisatawan, dan x = Tahun ke - i. Dari persamaan tersebut diperoleh jumlah wisatawan tahun 2027 adalah 143.057 orang. Tahap selanjutnya adalah menghitung Jumlah tenaga kerja laki-laki pada tahun 2027, yaitu tahun ke 17 menggunakan persamaan $y = 1.648,4x^2 - 1.0567x + 130.709$ dimana y = Jumlah tenaga kerja laki-laki dan x = Tahun Prediksi ke - i. Dari persamaan tersebut diperoleh Jumlah tenaga kerja laki-laki tahun 2027 adalah 427.458 orang.

Prediksi demand penumpang dilakukan dengan memasukkan nilai variabel-variabel X (untuk tahun 2027) ke dalam model demand penumpang baik kedatangan maupun keberangkatan.

Prediksi kedatangan penumpang:

$$Y = 0,0612 (X_2) + 2,7364 (X_6) - 259.577,3293 = 0,0612 (143057) + 2,7364 (427.458) - 259.577,3293 \\ = 918.873,83 \approx 918.874$$

Prediksi keberangkatan penumpang:

$$Y = 2,4799 (X_6) - 229.526,2913 = 2,4799 (427.458) - 229.526,2913 \\ Y = 830.526,80 \approx 830.527$$

Analisis

Penelitian ini bertujuan mendapatkan model demand penumpang Bandar Udara Frans Seda Maumere, meramalkan kebutuhan penumpang Bandar Udara Frans Seda Maumere pada tahun 2027 dan menganalisis kemampuan pelayanan Bandar Udara Frans Seda Maumere pada tahun 2027.

Pemodelan penumpang dilakukan dengan analisis regresi linier, sedangkan pemilihan persamaan terbaik berdasarkan metode *All Possible Regression* (APRE). Dari analisis diperoleh hasil bahwa model demand penumpang Bandar Udara Frans Seda Maumere untuk kedatangan penumpang adalah $Y = 0,0612 X_2 + 2,7364 X_6 - 259.577,3293$ dengan X₂ adalah Jumlah wisatawan dan X₆ adalah Tenaga Kerja Laki-laki. Untuk keberangkatan penumpang, model yang dihasilkan adalah $Y = 2,4799 X_6 + -229.526,2913$ dengan X₆ adalah Tenaga Kerja Laki-laki.

Prediksi demand penumpang dilakukan dengan memakai model regresi terpilih sebagai acuannya. Hasil prediksi demand penumpang Bandar Udara Frans Seda Maumere pada tahun 2027 adalah sebesar 918.874 penumpang kedatangan dan 830.527 penumpang keberangkatan.

Analisis kemampuan pelayanan air side facilities Bandar Udara Frans Seda Maumere pada tahun 2027 dilakukan dengan cara membandingkan supply (dari sisi air side facilities) dan demand penumpang hasil prediksi pada tahun 2027. Hasil analisisnya menyatakan bahwa Bandar Udara Frans Seda Maumere sudah tidak mampu melayani penumpang kedatangan maupun keberangkatan pada tahun 2027 dengan layak maka perlu adanya solusi dari pihak terkait dan Bandar udara seperti penambahan jumlah maskapai yang beroperasi di Bandar Udara Frans Seda Maumere pada. Rinciannya adalah kapasitas angkut/hari (1.235 orang) lebih kecil dari prediksi jumlah penumpang/hari pada tahun 2027 (2.518 orang) untuk penumpang kedatangan, dan kapasitas angkut/hari (1.292 orang) juga masih lebih kecil dari prediksi jumlah penumpang/hari pada tahun 2027 (2.275 orang) untuk penumpang keberangkatan.

3. KESIMPULAN

Demand penumpang Bandar Udara Frans Seda Maumere dapat dimodelkan sebagai berikut: model Kedatangan penumpang $Y = 0,06.X_2 + 2,73.X_6 - 259.577,32$, dan model keberangkatan penumpang adalah $Y = 2,47.X_6 + -229.526,29$ dimana X_2 adalah jumlah wisatawan, sementara X_6 adalah jumlah pekerja laki-laki. Dari model tersebut maka dapat dilakukan prediksi *demand* penumpang pada tahun 2027 adalah 918.874 penumpang datang, dan 830.527 penumpang berangkat. Analisis pelayanan bandara pada tahun 2027 adalah sebagai berikut:

Diperkirakan bandara tidak mampu melayani kedatangan penumpang pada tahun 2027 dengan jumlah kedatangan penumpang 2.518 orang dan keberangkatan penumpang sejumlah 2.275 penumpang. Begitu juga dari sisi terminal yang luasnya 3.000 m² tidak mencukupi kebutuhan yaitu seluas 4.594,37 m². Fasilitas pendukung yang cukup penting yaitu lahan parkir juga tidak mencukupi kebutuhan sebesar 15.400 m² sedangkan yang ada saat ini hanya 5.775 m².

PUSTAKA

- Ashford, N.J., Mumayiz S., Wright, P.H., 2011, *Airport Engineering: Planning, Design and Development of 21st Century Airports*, 4th ed, John Wiley & Sons, New York.
- Badan Penelitian dan Pengembangan (BAPELITBANG) kota Maumere 2016, *Indikator - Ekonomi-Kabupaten-Sikka-2016*
- Badan Penelitian dan Pengembangan (BAPELITBANG) kota Maumere, 2016, *Sikka dalam angka 2016*
- Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Maumere, *Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Kota Maumere, 2012, Sikka Dalam Angka 2013.*

KEBIJAKAN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA PADA KONTRAKTOR DI DKI JAKARTA

Harijanto Setiawan, Primawardani

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Jalan Babarsari No. 44, Yogyakarta

Telp. (0274) 487711

E-mail: haris@mail.uajy.ac.id, prima.wardani@ymail.com

ABSTRAK

Perhatian terhadap keselamatan dan kesehatan kerja (K3) meningkat seiring dengan berkembangnya industri konstruksi di Indonesia. Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2012 mengatur pelaksanaan K3 meliputi berbagai tahap dan penelitian ini berfokus pada tahap penetapan kebijakan K3 oleh kontraktor. Tujuan penelitian ini adalah menentukan tingkat kepentingan aspek-aspek kebijakan K3 dan kinerja kontraktor dalam pelaksanaannya. Data dikumpulkan melalui kuesioner yang diisi responden dari kontraktor di DKI Jakarta. Data yang terkumpul diolah dengan analisis mean dan standart deviasi untuk menentukan tingkat kepentingan dan kinerja aspek-aspek kebijakan K3. Selanjutnya perbandingan tingkat kepentingan dan kinerja dilakukan dengan metode korelasi Pearson dan metode Importance Performance Analysis (IPA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kepentingan dan kinerja kontraktor dalam hal kebijakan K3 berkorelasi secara signifikan. Selanjutnya analisis IPA mendapati bahwa semua aspek kebijakan K3 mempunyai tingkat kesesuaian dekat dengan 100% dan pada diagram kartesian berada pada kuadran pertahankan prestasi dan kuadran prioritas rendah.

Kata Kunci: Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Kontraktor

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kontraktor merupakan perusahaan berbasis proyek atau *projects based firms* (PBFs) yang menjalankan usahanya berdasarkan pada proyek (Gann dan Salter, 2000). Proyek dibangun kontraktor secara spesifik sesuai permintaan pemilik proyek (Blindenbach_Driessen dan van den Ende, 2006). Proyek yang dibangun kontraktor mempunyai berbagai keunikan yang mengakibatkan tingginya risiko kecelakaan kerja pada proyek konstruksi. Pada situasi seperti ini, kontraktor sebagai PBFs perlu memperhatikan pelaksanaan program keselamatan dan kesehatan kerja (K3) dalam rangka meminimalkan terjadinya kecelakaan kerja pada proyek-proyeknya. K3 bahkan menjadi salah satu kendala yang perlu dipenuhi kontraktor untuk mencapai keberhasilan proyek yang dibangunnya (Lau dan Jiahui, 2006). Lebih lanjut Levy (2012) menyampaikan bahwa K3 merupakan salah satu tantangan kritis kontraktor dalam membangun proyek-proyeknya.

Keunikan proyek konstruksi yang mengakibatkan tingginya risiko kecelakaan kerja antara lain adalah proyek konstruksi merupakan kegiatan yang padat karya yang dilaksanakan di tempat terbuka sehingga cuaca panas maupun hujan sangat berpengaruh terhadap kegiatan para pekerjanya. Selain itu kegiatan pada proyek konstruksi banyak yang dijalankan di tempat yang tinggi. Kegiatan pada proyek konstruksi banyak yang dilaksanakan dengan alat-alat yang berisiko menimbulkan kecelakaan kerja. Proyek konstruksi juga menggunakan bahan-bahan bangunan yang padat dan keras yang kadang dipasang di tempat yang tinggi sehingga besar kemungkinan akan terjatuh ke bawah.

Pada kondisi seperti ini, berbagai kecelakaan kerja seperti jatuh dari tempat yang tinggi, tertimpa benda padat dan keras, celaka akibat kelalaian dalam mengoperasikan mesin merupakan beberapa bentuk kecelakaan kerja yang besar kemungkinan terjadi pada para pekerja proyek maupun orang-orang yang sedang berkegiatan di lingkungan proyek. Selain kecelakaan kerja, kesehatan kerja juga perlu diperhatikan karena kondisi unik dari proyek juga dapat mempengaruhi kesehatan para pekerja.

Kondisi proyek konstruksi yang berpotensi menimbulkan kecelakaan kerja diperburuk dengan karakter lain dari proyek konstruksi yaitu tidak menggunakan pekerja tetap sehingga selama kegiatan proyek berlangsung sangat besar kemungkinan terjadinya pergantian pekerja. Pekerja baru perlu melakukan penyesuaian dengan lingkungan kerja yang baru. Dalam hal pekerja konstruksi, Levy (2002) menyatakan bahwa pekerja pada proyek konstruksi sering kali adalah tenaga kerja yang kurang trampil. Dalam kondisi seperti ini, program K3 harus menjadi prioritas utama yang perlu mendapat perhatian kontraktor.

Di Indonesia, sistem manajemen K3 diatur oleh Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Peraturan ini mengatur program K3 secara umum, termasuk untuk bidang konstruksi. Peraturan ini mengatur bahwa program K3 meliputi lima tahap yaitu: penetapan kebijakan K3, perencanaan K3, pelaksanaan rencana K3, pemantauan dan evaluasi K3, peninjauan dan peningkatan Kinerja sistem manajemen K3 (SMK3). Jika dilihat dari lima tahapan tersebut maka tahap pertama

yaitu penetapan kebijakan K3 merupakan tahap awal yang penting karena mengawali semua tahap berikutnya. Penetapan kebijakan K3 juga menunjukkan komitmen kontraktor untuk melaksanakan program K3.

Bertitik tolak dari kenyataan ini, maka penelitian ini berfokus pada penetapan kebijakan K3 oleh kontraktor yang merupakan tahap pertama dari lima tahap penerapan K3 yang diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2012. Adapun permasalahan yang dirumuskan pada penelitian ini adalah bagaimana tingkat kepentingan tiap aspek penetapan kebijakan K3 oleh kontraktor serta bagaimana kinerja kontraktor dalam tiap aspek kebijakan K3. Selanjutnya akan diteliti juga bagaimana perbandingan antara tingkat kepentingan dan kinerja kontraktor pada tiap aspek penetapan kebijakan K3. Penelitian dilakukan pada kontraktor di DKI Jakarta yang merupakan ibu kota, kota terbesar dan kota paling maju di Indonesia sehingga kondisi yang terjadi pada kontraktor di DKI Jakarta dapat dijadikan tolak ukur kondisi kontraktor di Indonesia.

1.2 Tinjauan Pustaka

1.2.1 Proyek konstruksi dan keselamatan kerja

Shadan dan Fleming (2012) mendefinisikan proyek sebagai sekelompok kegiatan yang saling berkaitan yang dijalankan dengan menyalurkan sejumlah dana demi tercapainya tujuan yang strategis dengan batasan kendala ruang lingkup, biaya dan jadwal yang telah ditentukan. Ruang lingkup proyek pada definisi ini dapat dijelaskan bahwa setiap proyek memiliki keunikan yang harus dinyatakan dalam dokumen persyaratan proyek yang ditulis secara formal yang memuat kebutuhan untuk menjalankan proyek, tingkat layanan yang diharapkan pada proyek, persyaratan proyek dan tuntutan akan kualitas proyek. Batasan waktu proyek didasarkan pada waktu mulai dan selesainya proyek yang telah disepakati sejak awal, sementara batasan biaya dilandasi batasan besarnya biaya proyek yang juga telah disepakati sejak awal. Lebih lanjut dijelaskan bahwa proyek berlangsung sepanjang siklus hidup yang meliputi fase-fase sejak awal hingga akhir proyek. Pada proyek konstruksi, fase-fase proyek terdiri dari inisiasi, perencanaan, desain, konstruksi, penyerahan, pemeliharaan dan penyelesaian.

Pada sisi lain, Lau dan Jiahui (2006) mengemukakan lima kendala yang dapat menghalangi tercapainya tujuan proyek. Kelima kendala tersebut adalah kendala ekonomi, hukum atau peraturan, lingkungan, teknik dan sosial. Kendala hukum atau peraturan meliputi beberapa aspek yang salah satunya adalah peraturan yang mengatur keselamatan kerja. Kontraktor dituntut untuk memenuhi kendala peraturan keselamatan kerja agar proyeknya dapat berjalan dengan lancar. Terkait dengan keselamatan kerja, Zou et al (2014) menulis bahwa kontraktor sebagai perusahaan berbasis proyek menghadapi lima jenis risiko yang terkait dengan proyek. Kelima risiko tersebut salah satunya adalah risiko keselamatan kerja pada proyek, selain itu ada pula risiko biaya, waktu, kualitas dan keberlanjutan lingkungan proyek. Levy (2012) menyampaikan bahwa kontraktor menghadapi berbagai tantangan untuk memenuhi berbagai tuntutan di era baru ini. Berbagai tantangan kritis yang dihadapi kontraktor antara lain mencakup teknologi informasi, sumber daya manusia, produktivitas kerja, pengendalian kualitas, sistem pengadaan, organisasi, teknologi konstruksi dan keselamatan kerja.

Shadan dan Fleming (2012) menegaskan jika keselamatan kerja harus menjadi prioritas utama kontraktor dalam membangun proyek. Pernyataan ini didukung Levy (2012) yang menyatakan bahwa manajer proyek dan para pengawas dituntut untuk lebih berkonsentrasi pada keberhasilan program keselamatan kerja. Salah satu alasannya adalah kelangkaan pekerja yang benar-benarampil di bidang konstruksi yang mengakibatkan semakin pentingnya perhatian pada program keselamatan kerja. Selain itu program keselamatan kerja juga tidak sekedar ditujukan untuk membangun kesan baik perusahaan tetapi lebih dari itu perlu dipertimbangkan untuk mempertahankan integritas tim proyek yang produktif.

Mendukung pentingnya program K3 bagi kontraktor, Orozco et al (2014) menyampaikan bahwa program K3 merupakan salah satu faktor, selain kepemimpinan dan manajemen kontrak, yang dipertimbangkan kontraktor untuk mengalahkan lawannya dalam persaingan bisnis. Pertimbangan ini didasarkan pada kenyataan bahwa K3 yang dikelola dengan baik akan berpengaruh positif pada kinerja proyek. Selain itu program K3 juga menjawab tantangan kontraktor untuk memenuhi tuntutan proyek untuk dilaksanakan dengan aman.

Lebih lanjut tentang keselamatan kerja, Mirzaei dan Mabin (2014) menulis bahwa dalam mengelola risiko kecelakaan kerja, kontraktor perlu menetapkan dokumen rencana keselamatan kerja. Dokumen ini diperlukan untuk memastikan bahwa pekerjaan yang dijalankan kontraktor tidak akan menimbulkan dampak yang merugikan semua pihak yang terlibat di proyek. Dokumen ini disiapkan dan ditanda-tangani oleh pihak-pihak terkait yang ada pada kontraktor. Dengan ditanda-tanganinya dokumen ini maka keselamatan pekerja menjadi tanggung-jawab kontraktor.

Mengingat pentingnya program K3 bagi kontraktor pada umumnya, sementara industri konstruksi tiap negara mempunyai lingkungan yang berbeda, maka penelitian tentang program K3 yang berfokus pada kontraktor di Indonesia perlu dilakukan. Di Indonesia sendiri telah diterbitkan peraturan pemerintah yang mengatur sistem manajemen K3 oleh karenanya pada bagian berikutnya akan ditinjau peraturan pemerintah tersebut.

1.2.2 Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2012

Di Indonesia, sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja diatur dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 50 Tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Peraturan pemerintah ini merupakan perwujudan dari Pasal 87 ayat 2 Undang Undang Nomor 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan yang menyatakan "ketentuan mengenai penerapan sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) diatur dengan Peraturan Pemerintah". Peraturan pemerintah ini mengatur sistem manajemen K3 secara umum termasuk pada bidang konstruksi, oleh karenanya peraturan ini diacu oleh penelitian ini yang meneliti K3 pada kontraktor.

Pada pasal 5 peraturan pemerintah ini disebutkan bahwa perusahaan yang mempekerjakan pekerja/buruh paling sedikit seratus orang dan atau perusahaan yang mempunyai potensi kecelakaan kerja yang tinggi diwajibkan untuk menerapkan Sistem Manajemen K3. Adapun penerapan SMK3 di perusahaan, meliputi lima tahap yang terdiri dari penetapan kebijakan K3, perencanaan K3, pelaksanaan rencana K3, pemantauan dan evaluasi K3, peninjauan dan peningkatan Kinerja SMK3.

Penelitian ini berfokus pada penetapan kebijakan K3 dengan pertimbangan bahwa kebijakan K3 merupakan dasar dari tahap-tahap selanjutnya. Selain itu penetapan kebijakan K3 juga menunjukkan komitmen manajemen puncak kontraktor untuk melaksanakan SMK3. Dengan demikian tahap ini merupakan tahap penting untuk diteliti lebih lanjut.

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 50 tahun 2012, dalam penetapan kebijakan K3, pengusaha harus melalui tahapan berikut ini.

- a. Melakukan tinjauan awal kondisi K3 yang meliputi:
 - Identifikasi potensi bahaya, penilaian dan pengendalian resiko
 - Perbandingan penerapan K3 dengan perusahaan dan sektor lain yang lebih baik
 - Peninjauan sebab akibat kejadian yang membahayakan
 - Kompensasi dan gangguan serta hasil penilaian sebelumnya yang berkaitan dengan keselamatan
 - Penilaian efisiensi dan efektivitas sumber daya yang disediakan
- b. Memperhatikan peningkatan kinerja manajemen K3 secara terus-menerus
- c. Memperhatikan masukan dari pekerja/buruh dan/atau serikat pekerja/buruh Kebijakan K3 yang sebagaimana dimaksud paling sedikit memuat visi, tujuan perusahaan, komitmen dan tekad melaksanakan kebijakan, serta kerangka dan program kerja yang mencakup kegiatan perusahaan secara menyeluruh yang bersifat umum dan/atau operasional.

Kebijakan K3 yang ditetapkan perusahaan setidaknya harus memuat visi dan tujuan perusahaan, komitmen perusahaan dalam menjalankan kebijakan yang telah ditetapkan, kerangka kerja untuk menjalankannya. Selanjutnya perusahaan mempunyai kewajiban untuk menyebar-luaskan kebijakan yang telah ditetapkannya kepada pekerja yang bekerja padanya dan semua pihak terkait.

Terkait dengan kebijakan K3, peraturan pemerintah ini juga mengatur bahwa kebijakan K3 harus tertulis, tertanggal dan disahkan oleh pucuk pimpinan dengan membubuhkan tanda tangan pada naskah kebijakan K3 tersebut. Kebijakan K3 harus memuat tujuan dan sasaran K3 yang telah ditetapkan perusahaan yang harus bersifat dinamis dan secara berkala ditinjau ulang untuk menjamin kesesuaiannya dengan perubahan yang terjadi pada lingkungan perusahaan maupun peraturan-peraturan terkait. Selain itu agar tujuan dan sasaran K3 yang termuat dalam kebijakan K3 dapat terlaksana dengan baik maka perusahaan dituntut untuk menempatkan organisasi K3 dalam struktur organisasinya dan menyediakan anggaran yang diperlukan untuk melaksanakan program K3. Keberhasilan pelaksanaan program K3 akan berhasil dengan baik jika didukung oleh setiap tingkat pimpinan perusahaan dan semua pekerja yang terlibat dalam kegiatan perusahaan.

1.3 Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk menilai sejauh mana kontraktor telah menetapkan kebijakan K3 serta menentukan kinerja kontraktor dalam melaksanakan masing-masing kebijakan K3. Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan data kemudian dilanjutkan dengan analisis data menggunakan beberapa metode, kemudian hasil analisis data ini digunakan untuk mengambil kesimpulan untuk menjawab permasalahan yang telah dirumuskan dalam penelitian ini serta memberikan saran yang bermanfaat bagi industri konstruksi maupun pengembangan ilmu pengetahuan.

1.3.1 Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan kuesioner yang dibagikan kepada personel yang bekerja pada kontraktor di DKI Jakarta. Kontraktor yang dipilih pada penelitian ini adalah kontraktor dengan spesialisasi bangunan tinggi karena proyek bangunan tinggi mempunyai risiko kecelakaan kerja yang tinggi. Kuesioner terdiri dari dua bagian, yaitu bagian umum yang berisi latar belakang responden dan bagian utama yang berisi kebijakan K3. Pertanyaan tentang kebijakan K3 disusun berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 50 tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja.

Pertanyaan tentang kebijakan K3 terdiri dari 11 pertanyaan dimana pada masing-masing pertanyaan responden diminta untuk memberikan dua penilaian, yaitu tingkat pelaksanaan dan tingkat kepentingan. Penilaian yang diberikan menggunakan skala Likert yang masing-masing dengan skala 1 sampai dengan 3 untuk tingkat pelaksanaan dan 1 sampai dengan 5 untuk tingkat kepentingan. Skala Likert pada tingkat kepentingan terdiri dari: 1) tidak dilaksanakan, 2) dilaksanakan dan 3) dilaksanakan sepenuhnya. Sementara skala Likert untuk tingkat kepentingan terdiri dari: 1) tidak penting, 2) kurang penting, 3) cukup penting, 4) penting dan 5) sangat penting. Pemilihan skala likert yang berbeda antara pelaksanaan dan kepentingan mempertimbangkan sulitnya menilai pelaksanaan dalam skala yang lebih detil, oleh karenanya pada tingkat pelaksanaan hanya diberikan tiga pilihan saja.

1.3.2 Analisis data

Data yang terkumpul dari bagian latar belakang responden pada kuesioner selanjutnya dianalisis dengan menggunakan metode prosentase. Sementara data dari bagian utama kuesioner diolah dengan statistik deskriptif yang terdiri dari *mean* dan standard deviasi. Berdasarkan nilai *mean*, tiap poin dari kebijakan K3 dapat dikategorikan tingkat kepentingan dan tingkat pelaksanaan yang menunjukkan kinerja kontraktor dalam melaksanakannya. Selanjutnya kedua kelompok data dikorelasikan dengan metode korelasi Pearson untuk mengetahui ada tidaknya hubungan secara statistik antara pelaksanaan dan kepentingan kebijakan K3 pada kontraktor di DKI Jakarta.

Lebih lanjut, analisis IPA juga diterapkan untuk melihat hubungan antara tingkat kepentingan dan kinerja kontraktor untuk kebijakan K3. IPA merupakan metode yang diperkenalkan oleh Martilla dan James (1977) untuk bidang pemasaran. Meskipun metode IPA ini awalnya diterapkan untuk bidang pemasaran namun selanjutnya metode ini banyak diterapkan pada bidang-bidang lain.

IPA merupakan metode sederhana untuk menunjukkan hubungan antara kepentingan dan kinerja perusahaan dalam menjalankan suatu kegiatan yang bermanfaat untuk menunjukkan kekuatan dan kelemahan perusahaan dalam suatu kegiatan. Dalam metode IPA tingkat kesesuaian antara kepentingan dan kinerja ditentukan dengan menghitung prosentase perbandingan nilai kinerja (X_i) dan nilai kepentingan (Y_i) dengan rumus $(X_i / Y_i) \times 100\%$. Selanjutnya berdasarkan nilai persen yang diperoleh dapat ditentukan kriteria penilaian tingkat kesesuaian sebagai berikut:

- tingkat kesesuaian $>100\%$ berarti kinerja melebihi kepentingan
- tingkat kesesuaian $<100\%$ berarti kepentingan melebihi kinerja

IPA melengkapi analisisnya dengan menggambarkan tingkat kepentingan dan kinerja dalam satu matriks IPA yang berupa diagram kartesian. Tingkat kepentingan pada diagram diletakkan pada sumbu tegak Y, sementara kinerja diletakkan pada sumbu datar X. Selanjutnya matriks IPA dibagi menjadi 4 kwadran dimana tiap kwadran mewakili perlakuan yang perlu diterapkan pada tiap kegiatan. Martilla dan James (1977) menetapkan perlakuan kegiatan pada tiap kwadran sebagai berikut:

- kwadran 1: prestasi yang telah dicapai pada kegiatan di kwadran ini perlu dipertahankan karena tingkat kepentingan maupun kinerjanya tinggi
- kwadran 2: perbaikan pelaksanaan kegiatan pada kwadran ini perlu diprioritaskan karena kegiatan pada kwadran ini mempunyai tingkat kepentingan tinggi tetapi kinerjanya rendah
- kwadran 3: kegiatan pada kwadran ini mendapat prioritas rendah karena tingkat kepentingannya rendah dan kinerjanya juga rendah
- kwadran 4: perusahaan mempunyai kemampuan berlebih untuk melaksanakan kegiatan pada kwadran ini karena tingkat kepentingannya rendah tetapi mempunyai kinerja baik.

Gambaran lebih jelas untuk diagram kartesian beserta status kegiatan pada tiap kuadran dapat dilihat pada Gambar 1.

2. PEMBAHASAN

Dalam keadaan adanya keterbatasan waktu, biaya dan aksesibilitas data untuk pengumpulan data pada penelitian ini, data yang berhasil dikumpulkan dan layak untuk diolah berasal dari 91 responden yang bekerja pada kontraktor di DKI Jakarta. Responden penelitian ini bekerja pada kontraktor di berbagai posisi seperti manajer proyek, manajer lapangan, *safety officer*, *quality control officer* dan pelaksana lapangan. Para responden mempunyai pengalaman kerja yang beragam pula dari kurang dari 5 tahun hingga lebih dari 15 tahun dengan pendidikan antara SLTA hingga Strata dua. Selanjutnya data yang terkumpul diolah dengan metode statistik deskriptif, korelasi Pearson dan IPA yang hasilnya seperti diuraikan di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Kartesian (sumber: Matrilla & James, 1977)

2.1 Tingkat kepentingan dan kinerja

Hasil analisis data berupa nilai *mean*, standart deviasi dan tingkat kesesuaian untuk tiap kebijakan seperti ditampilkan pada Tabel 1. Hasil analisis menunjukkan bahwa tingkat kepentingan semua aspek mempunyai nilai *mean* di atas 4,5 dari skala 1 sampai dengan 5 yang berarti semua aspek berada antara penting dan sangat penting, bahkan mendekati sangat penting. Sementara kinerja semua kebijakan mempunyai nilai *mean* di atas 2,5 dari skala 1 sampai dengan 3 yang berarti semua kebijakan telah dilaksanakan pada tingkat antara dilaksanakan sebagian dan dilaksanakan sepenuhnya, bahkan mendekati dilaksanakan sepenuhnya.

Tabel 1. Kebijakan K3 oleh kontraktor

No.	Kebijakan K3	Tingkat kepentingan		Kinerja	
		Mean	SD	Mean	SD
1	Kebijakan K3 tertulis, tertanggal, dan ditanda-tangani	4,71	0,48	2,82	0,44
2	Kebijakan K3 disahkan oleh pucuk pimpinan perusahaan	4,63	0,59	2,81	0,45
3	Kebijakan K3 memuat visi dan tujuan perusahaan	4,62	0,79	2,76	0,48
4	Tujuan dan sasaran K3 dinyatakan secara jelas	4,75	0,56	2,77	0,42
5	Setiap tingkat pimpinan dalam perusahaan menunjukkan komitmen terhadap K3	4,70	0,51	2,75	0,44
6	Menempatkan organisasi K3 pada posisi yang dapat menentukan keputusan perusahaan	4,68	0,58	2,76	0,43
7	Menyediakan anggaran, tenaga kerja yang berkualitas, dan sarana-sarana lain yang diperlukan program K3	4,65	0,50	2,73	0,45
8	Menetapkan personil yang mempunyai tanggung jawab, wewenang, dan kewajiban yang jelas dalam melaksanakan K3	4,66	0,52	2,77	0,42
9	Penyusunan kebijakan K3 dilakukan melalui tinjauan awal kondisi K3	4,56	0,60	2,67	0,52
10	Penyusunan kebijakan K3 dilakukan melalui proses konsultasi antara pengurus dan wakil pekerja	4,40	0,68	2,54	0,60
11	Kebijakan K3 dijelaskan dan disebarluaskan kepada seluruh pekerja, tamu, sub-kontraktor, pemasok dan pelanggan	4,52	0,69	2,68	0,49

2.2 Analisis Korelasi

Setelah tingkat kepentingan dan kinerja tiap aspek kebijakan K3 kontraktor ditemukan seperti pada Tabel 1, selanjutnya akan dilakukan analisis korelasi dengan menggunakan metode Pearson. Analisis korelasi ini bertujuan untuk melihat apakah aspek yang penting juga merupakan aspek yang telah dijalankan dengan baik oleh kontraktor.

Analisis korelasi Pearson menunjukkan korelasi atau hubungan antara tingkat kepentingan dan kinerja kebijakan K3 mempunyai koefisien korelasi positif sebesar 0.883663. Hasil yang positif dan mendekati nilai satu ini menunjukkan bahwa kedua variabel yang dikorelasikan mempunyai korelasi searah yang kuat. Dengan demikian tingkat kepentingan dan kinerja kebijakan K3 pada kontraktor di DKI Jakarta telah dilaksanakan dengan baik karena aspek yang tingkat kepentingannya tinggi juga telah dilaksanakan dengan baik.

2.3 Analisis IPA dan diagram Kartesian

Analisis IPA diawali dengan hitungan tingkat kesesuaian antara tingkat kepentingan dan kinerja yang besarnya dinyatakan dalam bentuk persen dengan menggunakan rumus yang telah dijelaskan di atas. Hasil hitungan tingkat kesesuaian untuk seluruh aspek kebijakan K3 pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 2. Hasil hitungan menunjukkan bahwa hampir semua aspek mempunyai persentase kesesuaian sedikit di bawah 100% yang berarti tingkat kepentingannya sedikit melebihi kinerja. Hanya satu aspek mempunyai prosentase sedikit di atas 100% yang berarti kinerjanya sedikit di atas tingkat kepentingannya. Walaupun tingkat kesesuaiannya ada yang di bawah dan di atas 100% namun semuanya mendekati 100%. Tingkat kesesuaian yang di bawah 100%, semuanya di atas 95%, sementara yang di atas 100% berada pada nilai 101.15%. Hasil yang semua mendekati 100% ini menunjukkan adanya kesesuaian antara tingkat kepentingan dan kinerja pada semua aspek hampir sama,

Tabel 2. Tingkat kesesuaian tingkat kepentingan dan kinerja

<i>No.</i>	<i>Kebijakan K3</i>	<i>Tingkat kesesuaian</i>
1	Kebijakan K3 tertulis, tertanggal, dan ditanda-tangani	99.79
2	Kebijakan K3 disahkan oleh pucuk pimpinan perusahaan	101.15
3	Kebijakan K3 memuat visi dan tujuan perusahaan	99.57
4	Tujuan dan sasaran K3 dinyatakan secara jelas	97.19
5	Setiap tingkat pimpinan dalam perusahaan menunjukkan komitmen terhadap K3	97.52
6	Menempatkan organisasi K3 pada posisi yang dapat menentukan keputusan perusahaan	98.29
7	Menyediakan anggaran, tenaga kerja yang berkualitas, dan sarana-sarana lain yang diperlukan program K3	97.85
8	Menetapkan personil yang mempunyai tanggung jawab, wewenang, dan kewajiban yang jelas dalam melaksanakan K3	99.07
9	Penyusunan kebijakan K3 dilakukan melalui tinjauan awal kondisi K3	97.59
10	Penyusunan kebijakan K3 dilakukan melalui proses konsultasi antara pengurus dan wakil pekerja	96.21
11	Kebijakan K3 dijelaskan dan disebarluaskan kepada seluruh pekerja, tamu, sub-kontraktor, pemasok dan pelanggan	98.82

Selanjutnya analisis IPA juga menghasilkan diagram kartesian seperti pada Gambar 2. Diagram kartesian dibagi menjadi empat kuadran untuk menunjukkan hubungan antara tingkat kepentingan dan kinerja kontraktor. Hasil analisis IPA untuk kebijakan K3 oleh kontraktor di DKI Jakarta yang digambarkan pada diagram kartesian menunjukkan bahwa semua aspek kebijakan K3 berada pada kuadran 1 dan kuadran 3. Hasil ini menunjukkan bahwa semua aspek kebijaksanaan K3 yang berada dalam kuadran 1 mempunyai tingkat kepentingan tinggi dan kinerja tinggi, serta kuadran 3 yang mempunyai tingkat kepentingan rendah dan kinerja rendah.

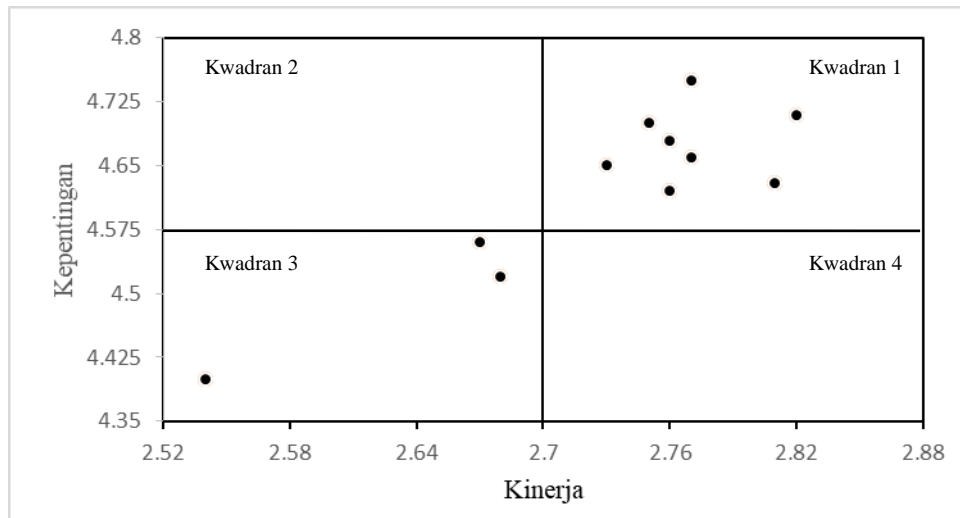
Aspek-aspek kebijakan K3 yang masuk dalam kuadran 3 yang dikategorikan prioritas rendah karena tingkat kepentingannya rendah dan kinerjanya juga rendah terdiri dari 3 aspek seperti dijelaskan berikut ini.

- Penyusunan kebijakan K3 dilakukan melalui tinjauan awal kondisi K3
- Penyusunan kebijakan K3 dilakukan melalui proses konsultasi antara pengurus dan wakil pekerja
- Kebijakan K3 dijelaskan dan disebarluaskan kepada seluruh pekerja, tamu, sub-kontraktor, pemasok dan pelanggan

Sementara aspek yang perlu dipertahankan karena berada di kuadran 1 yang berarti tingkat kepentingannya tinggi dan juga telah dilaksanakan dengan baik oleh kontraktor terdiri dari 8 aspek seperti dijelaskan berikut ini.

- Kebijakan K3 tertulis, tertanggal, dan ditanda-tangani
- Kebijakan K3 disahkan oleh pucuk pimpinan perusahaan
- Kebijakan K3 memuat visi dan tujuan perusahaan
- Tujuan dan sasaran K3 dinyatakan secara jelas
- Setiap tingkat pimpinan dalam perusahaan menunjukkan komitmen terhadap K3
- Menempatkan organisasi K3 pada posisi yang dapat menentukan keputusan perusahaan

- Menyediakan anggaran, tenaga kerja yang berkualitas, dan sarana-sarana lain yang diperlukan program K3
- Menetapkan personil yang mempunyai tanggung jawab, wewenang, dan kewajiban yang jelas dalam melaksanakan K3



Gambar 2. Diagram Kartesian

3. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kebijaksanaan K3 pada kontraktor di DKI Jakarta mempunyai kesesuaian yang tinggi antara tingkat kepentingan dengan kinerja pelaksanaannya. Hasil ini didukung dengan hasil analisis IPA yang menunjukkan bahwa aspek-aspek kebijaksanaan K3 pada kontraktor di DKI Jakarta tingkat kepentingan dan kinerjanya hanya terbagi pada posisi prioritas rendah dan prestasinya perlu dipertahankan. Prioritas rendah karena tingkat kepentingannya rendah dan kinerjanya juga rendah (kwadran 3) sementara prestasinya perlu dipertahankan karena tingkat kepentingannya tinggi dan kinerjanya tinggi (kwadran 1). Walaupun hasil analisis menunjukkan kesesuaian antara tingkat kepentingan dan kinerja kebijakan K3 pada kontraktor di DKI Jakarta, namun kiranya perlu diperhatikan tiga aspek yang masuk kategori prioritas rendah. Para kontraktor perlu mengkaji ulang apakah benar ketiga aspek tersebut memang tidak penting sehingga tidak perlu diperhatikan.

Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan khususnya oleh para kontraktor di DKI Jakarta untuk mengevaluasi penetapan kebijaksanaan K3 yang telah dilaksanakan di perusahaannya. Sementara bagi kontraktor pada umumnya, hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk penetapan kebijaksanaan K3 di perusahaannya. Hasil penelitian ini juga bermanfaat untuk pengembangan penelitian di bidang manajemen konstruksi khususnya di bidang K3. Penelitian lanjutan dapat dilakukan untuk melakukan penelitian yang sama di daerah lain yang industri konstruksinya juga berkembang dengan baik, sehingga dapat dibandingkan kondisi yang terjadi di masing-masing daerah di Indonesia. Selain itu penelitian ini juga dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya dari penerapan SMK3 menurut Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2012 oleh kontraktor. Tahap berikutnya tersebut meliputi perencanaan K3, pelaksanaan rencana K3, pemantauan dan evaluasi K3, peninjauan dan peningkatan Kinerja SMK3.

PUSTAKA

- Blindenbach-Driessen, F. & Van Den Ende, J. (2006). Innovation in project-based firms: The context dependency of success factors. *Research Policy*, Vol. 35, 4, pp. 545-561
- Gann, D. M. & Salter, A. J. (2000). Innovation in project-based, service-enhanced firms: The construction of complex products and systems". *Research Policy*, Vol. 29, pp. 955-972

- Lau, E. and Jiahui, J. (2006) Identification of Constraints in Construction. Projects to Improve Performance. Paper presented in CCIM2006: Sustainable Development through Culture and Innovation, Dubai, UAE, 26-29 November 2006
- Levy, S.M. 2012. *Project management in construction, sixth edition*. McGraw Hill
- Martilla, J.A. and James, J.C. (1977) Importance-Performance Analysis. *Journal of Marketing*, 41, 77-790).
- Mirzaei, M. and Mabin, V.J. (2014) Exploring Constraints in Projects: a Construction Case Study, Proceedings of the 48th Annual Conference of the ORSNZ,
(https://secure.orsnz.org.nz/conf48/program/Papers/nzsaorsnz2014_paper_24.pdf)
- Orozco, F. A., Serpell, A. F., Molenaar, K. R. & Forcael, E. (2014). Modeling competitiveness factors and indexes for construction companies: Findings of Chile. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 140, Issue 4.
- Shadan, K. & Fleming, G. (2012). *Construction project management handbook*. FTA Report No. 0015 Federal Transit Administration
- Zou, P. X. W., Zhang, G. & Wang, J.-Y. (2014). "Identifying key risks in construction projects: Life cycle and stakeholder perspectives". *International Journal of Construction Management* Vol. 9, Issue 1.

CRITICAL SUCCESS FACTORS (CSF) HUBUNGAN KERJA SAMA ANTARA KONTRAKTOR DENGAN PEMASOK PROYEK KONSTRUKSI: PENDEKATAN KAJIAN LITERATUR

Heru Utama

*Konsentrasi Manajemen Proyek Konstruksi, Program Magister Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan
Bandung*

Jalan Merdeka No. 30, Bandung

Telp. (022) 4213556

E-mail: heru_utama98@yahoo.com

ABSTRAK

Adanya keterbatasan sumber daya mengharuskan kontraktor melakukan kerja sama atau kolaborasi untuk dapat mengikuti proses tender karena persyaratan pekerjaan (lampiran syarat-syarat khusus kontrak) menuntut adanya peralatan pendukung yang harus dimiliki calon kontraktor dalam mengikuti lelang proyek. Kendala yang masih terjadi seperti lemahnya kerjasama, kurangnya kepercayaan, dan komunikasi tidak efektif mengakibatkan hubungan perselisihan antara pihak. Kerja sama merupakan cara paling inovatif untuk mendapatkan proyek yang efisien dan mengurangi perselisihan. Kesuksesan hubungan kerja sama sejalan dengan kesuksesan proyek. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh pada kesuksesan hubungan kerja sama antara kontraktor dengan pemasok proyek konstruksi di Propinsi Sumatera Barat. Metode yang digunakan adalah studi literatur yang berhubungan dengan kesuksesan hubungan kerja sama. Dari kajian literatur dapat diidentifikasi faktor yang relevan dengan tujuan penelitian. Faktor-faktor yang telah diidentifikasi dikelompokkan ke dalam kategori kesuksesan hubungan yaitu komunikasi, dukungan dari manajemen puncak, sumber daya, ekuitas hubungan, tujuan bersama, karakteristik keanggotaan, proses dan lingkungan.

Kata Kunci: kerja sama, kesuksesan, proyek, kontraktor, pemasok

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada masa lalu, nilai kegiatan konstruksi relatif kecil dibandingkan dengan input sumber daya konstruksi yang tersedia. Material, sumber daya manusia, teknologi, dan peralatan dianggap melimpah untuk mendukung investasi konstruksi setiap tahunnya. Kendala yang masih sering terjadi pada jasa konstruksi nasional adalah masih terdapatnya kelemahan manajemen, penguasaan teknologi, permodalan, logistik, pengadaan serta keterbatasan tenaga profesional dan tenaga terampil (Soeparto dan Trigunarsyah, 2005) dan keterlambatan waktu pelaksanaan.

Karena masih adanya keterbatasan sumber daya, mengharuskan kontraktor melakukan kolaborasi atau kerja sama untuk dapat mengikuti proses tender karena persyaratan pekerjaan (lampiran syarat-syarat khusus kontrak) menuntut adanya peralatan pendukung yang harus dimiliki calon kontraktor dalam mengikuti lelang proyek pemerintah. Dengan alasan tersebut, mulai terpicirkan untuk membentuk suatu kerjasama sementara dalam suatu hubungan kemitraan (Smith, 1995 dalam Chandra et al., 2002). Pentingnya kolaborasi atau kerja sama diantara pengusaha lokal yang memiliki sumber daya yang berbeda dalam usaha memenuhi persyaratan ketersediaan peralatan konstruksi/ material untuk mendapatkan dan melaksanakan proyek dimaksud.

Masalah keterlambatan progres pekerjaan sering ditemui karena beberapa hal seperti tidak harmonisnya hubungan kerja sama yang terbentuk antara kontraktor dengan pemasok, lemahnya koordinasi dalam pelaksanaan pekerjaan serta lemahnya komitmen antara kontraktor dengan pemasok. Penerapan kemitraan dalam pelaksanaan proyek konstruksi pemerintah Indonesia antara kontraktor dengan pemasok diharapkan menjadi solusi yang efektif untuk mewujudkan hasil konstruksi yang sesuai mutu yang disyaratkan, biaya yang dianggarkan dan tepat waktu dalam pelaksanaan. Perusahaan konstruksi yang melakukan kerja sama dengan perusahaan lain akan meningkatkan efisiensi dan mengurangi sumber daya yang dibutuhkan sehingga dapat meningkatkan keuntungan (Wu et al., 2008).

Dengan tujuan mengatasi masalah yang disebutkan, peneliti sebelumnya telah menyelidiki hubungan antara klien, kontraktor dan konsultan (Anvuur dan Kumaraswamy, 2007; Bresnen dan Marshall, 2002). Namun, hasil penelitian tersebut belum cukup produktif dalam mengurangi masalah ini. Sementara fakta bahwa pemasok melaksanakan sebagian besar dari pekerjaan dalam pola kerja sama ini. Dengan demikian, sangat penting untuk menyelidiki hubungan kerja sama kontraktor dengan pemasok untuk menjamin keberhasilan tujuan infrastruktur dan mengingat penelitian mengenai hubungan kontraktor dengan pemasok belum banyak diteliti oleh peneliti

sebelumnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh pada kesuksesan hubungan kerja sama antara kontraktor dengan pemasok proyek konstruksi di Propinsi Sumatera Barat.

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah bagi pihak kontraktor, dapat meningkatkan kemampuan, transfer *knowledge*, serta efisiensi dan efektifitas dengan melakukan pengendalian faktor-faktor yang teridentifikasi sehingga terhindar dari keterlambatan yang menyebabkan pembengkakan biaya disamping kontribusi dalam pemilihan pola kerja sama yang akan diterapkan. Bagi pihak pemasok (pendukung), dapat meningkatkan pangsa pasar dan memperlancar *cash flow* perusahaan. Memberikan pemahaman kepada pemilik proyek tentang faktor-faktor kunci kesuksesan hubungan kerja sama antara kontraktor dengan pemasok dan mengisi kesenjangan dalam pengetahuan antara hubungan pihak-pihak yang terlibat dalam proyek konstruksi.

1.2 Tinjauan Pustaka

Konsep *Critical Success Factors* (CSF) pertama kali diperkenalkan oleh D. Ronald Daniel pada tahun 1960, konsep ini kemudian dikembangkan oleh John F. Rockhart (Massachusetts Institute of Technology Sloan School of Management) yang timbul karena adanya kesadaran dari pemilik perusahaan betapa pentingnya informasi dalam pengambilan keputusan pada era akhir 1970-an dan awal 1980-an. Rockhart dan tim *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) berkonsentrasi untuk membuat suatu pendekatan mengidentifikasi dan menentukan kebutuhan mereka. Pendekatan dilakukan dengan mengembangkan teori manajemen yang dikemukakan oleh Daniel dengan pendekatan CSF. Hal ini dilakukan untuk menyederhanakan sistem informasi sehingga organisasi hanya berfokus pada faktor-faktor yang mempengaruhi kesuksesan program organisasi. Rockhart melakukan penyaringan faktor-faktor keberhasilan yang paling berpengaruh dan organisasi akan mengambil keputusan penting berdasarkan informasi faktor yang paling berpengaruh. Dari sudut pandang manajemen konstruksi, CSF adalah karakteristik, kondisi atau variabel yang memiliki dampak signifikan terhadap suksesnya proyek (Babu dan Sudhakar, 2015).

Pengaturan kerja sama yang selanjutnya disebut pola kemitraan dalam konstruksi pada dasarnya diatur melalui penjelasan umum ayat 2 Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi yang menyebutkan bahwa asas kemitraan mengandung pengertian hubungan kerja sama para pihak yang harmonis, terbuka, bersifat timbal balik, dan sinergis antara kontraktor jasa, baik yang berskala besar, menengah dan kecil maupun yang berkualifikasi umum, spesialis dan terampil.

Di dalam Undang-Undang No. 20 Tahun 2008 terdapat bentuk perjanjian kemitraan dan konsep kemitraan. Kemitraan adalah kerja sama dalam keterkaitan usaha, baik langsung maupun tidak langsung, atas dasar prinsip saling memerlukan, mempercayai, memperkuat, dan menguntungkan yang melibatkan pelaku Usaha Mikro, Kecil, Menengah dengan Usaha Besar.

Kemitraan atau dalam istilah bahasa Inggrisnya *partnering* merupakan komitmen jangka panjang antara dua atau lebih organisasi dalam rangka mencapai tujuan bisnis tertentu dengan memaksimalkan efektivitas sumber daya masing-masing peserta. Hubungan ini didasarkan pada kepercayaan, dedikasi untuk tujuan bersama, dan pemahaman tentang nilai dan harapan masing-masing individu (*Construction Industry Institute*, 1991).

Beberapa definisi *partnering* dari berbagai sumber seperti yang dikutip dari Eren (2007) :

a. Sander dan Moore (1992) :

“*Partnering* merupakan suatu teknik untuk menciptakan proses manajemen proyek yang efektif antara dua atau lebih organisasi”.

b. Crowley dan Karim (1995) :

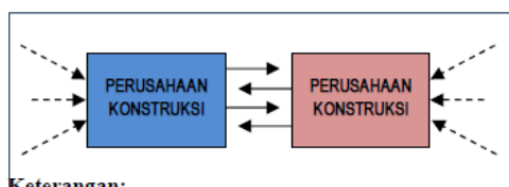
“*Partnering* adalah suatu organisasi konseptual yang dibentuk dengan menerapkan strategi kooperasi yang dimodifikasi dan merubah batas-batas tradisional perusahaan dalam pasar yang kompetitif”.

c. Bennet dan Jayes (1998) :

“*Partnering* adalah seperangkat tindakan strategis yang digunakan untuk mencapai perbaikan kinerja konstruksi. Hal ini didorong oleh pemahaman yang jelas tentang tujuan bersama dan pengambilan keputusan yang kooperatif oleh beberapa perusahaan yang terlibat, dengan fokus memberikan umpan balik untuk terus menerus meningkatkan kinerja mereka”.

Dari beberapa pengertian mengenai *partnering* diatas, maka dapat disimpulkan bahwa *partnering* merupakan suatu usaha, upaya dan komitmen antara dua pihak atau lebih untuk mencapai tujuan bersama.

Alasan kontraktor dan pemasok bekerja sama adalah karena adanya hubungan *supply-demand* di antara mereka. Namun, bekerja sama secara lebih erat disebabkan oleh berbagai alasan yang dapat bersifat sukarela dengan mekanisme bertahap atau direkayasa oleh mekanisme yang ditetapkan (Bresnen dan Marshall, 2002). Misalnya, organisasi bekerja sama secara sukarela untuk meningkatkan efisiensi internal (Ellinger, 2000; Fawcett dan Magnan, 2002) atau diperlukan adanya berkolaborasi dalam menanggapi tuntutan/tantangan eksternal (*Planning Advisory Service*, 2007). Terutama, kerja sama jangka panjang dapat menurunkan biaya transaksi yaitu dengan menghindari pengulangan biaya tender dan menghemat waktu. Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini akan memeriksa alasan perlunya bekerja sama dari dua perspektif. Seperti pada Gambar 2.1 yang menggambarkan tekanan eksternal dan tuntutan internal (Wu *et al.*, 2008).



Gambar 1. Alasan membentuk kerja sama yang lebih erat dalam konstruksi

Tekanan eksternal biasanya disebabkan oleh meningkatnya kompleksitas pekerjaan dan teknologi konstruksi serta persaingan pasar yang kuat pada industri konstruksi. Sehingga memaksa suatu perusahaan konstruksi harus menciptakan hubungan kerja dengan perusahaan lain. Sedangkan tuntutan internal pada dasarnya dikarenakan perusahaan tersebut saling membutuhkan dan akan saling menguntungkan.

1.3 Faktor-Faktor Kesuksesan Hubungan Kerja Sama

Secara umum penelitian yang dilakukan bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor kritis yang mempengaruhi kesuksesan kerja sama/ kemitraan (*partnering*). Chan *et al.* (2004) mengidentifikasi 10 CSF yang mempengaruhi kesuksesan proyek kemitraan di Hongkong. Cheng *et al.* (2000) mengidentifikasi 10 faktor penentu keberhasilan yang berkontribusi terhadap keberhasilan penggunaan *partnering* dalam proyek. Dikmen *et al.* (2008) menetapkan 13 CSF yang mempengaruhi kesuksesan proyek kemitraan di Turki. Awodele *et al.* (2007) mengidentifikasi dan meninjau 18 faktor-faktor kritis yang berkontribusi terhadap kesuksesan pelaksanaan proyek kemitraan di Nigeria. Chen dan Kao (2010) mengidentifikasi 19 CSF yang berkontribusi terhadap kesuksesan pelaksanaan proyek kemitraan di Taiwan. Wu *et al.* (2008) mengemukakan 19 atribut kerja kolaboratif dalam proyek konstruksi. Mattessich dan Monsey (1992) meringkas literatur penelitian tentang faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan kolaborasi menjadi 19 faktor. Wong dan Cheung (2005) mengidentifikasi 14 atribut keberhasilan kolaborasi. Adnan *et al.* (2011) mengidentifikasi 14 faktor kemitraan pada kontraktor kecil menengah di Malaysia.

1.4 Pengelompokkan Faktor Kesuksesan Hubungan Kerja Sama

Chan *et al.* (2004) mengidentifikasi CSF yang mempengaruhi kesuksesan proyek kemitraan. Dalam penelitiannya faktor diidentifikasi kemudian dikelompokkan menjadi tujuh kelompok yaitu kelompok komunikasi yang efektif, penyelesaian konflik yang produktif, komitmen jangka panjang, koordinasi yang efisien, saling percaya, dukungan dari manajemen puncak, sumber daya yang memadai. Cheng *et al.* (2000) mengidentifikasi faktor penentu keberhasilan yang berkontribusi terhadap keberhasilan *partnering* dalam proyek berdasarkan tiga ukuran yaitu karakteristik penting yang berhubungan dengan konteks, keterampilan penting manajemen, ukuran penting kesuksesan kemitraan. Black *et al.* (2000) melakukan penelitian penilaian pendapat dari tiga kelompok organisasi yang terlibat dalam konstruksi yaitu kontraktor, konsultan dan klien dalam kaitannya dengan CFS. Awodele *et al.* (2007) dan Chen dan Kao (2010) sama-sama mengelompokkan faktor-faktor kritis yang berkontribusi terhadap kesuksesan pelaksanaan proyek menjadi empat kelompok yaitu budaya tim yang kolaboratif, perspektif kualitas jangka panjang, tujuan yang konsisten dan sumber daya bersama. Mattessich dan Monsey (1992) mengelompokkan faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan kolaborasi. Pencarian melalui bibliografi berbasis komputer, menghubungi peneliti yang tertarik pada topik, dan melacak referensi bibliografi di setiap dokumen yang diperoleh enam kelompok yaitu lingkungan, karakteristik keanggotaan, proses, komunikasi, tujuan dan sumber daya. Wong dan Cheung (2005) mengelompokkan menjadi empat kategori yaitu kinerja mitra, permeabilitas mitra, ikatan relasional dan kepercayaan berbasis sistem.

1.5 Metodologi Penelitian

Metode pada penelitian ini menggunakan data sekunder yaitu studi literatur terhadap penelitian-penelitian terdahulu yang memiliki relevansi dengan tujuan penelitian. Studi literatur pada penelitian ini merupakan jurnal-jurnal ilmiah yang melakukan studi tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kesuksesan hubungan kerja sama dalam proyek konstruksi. Dari sejumlah literatur di atas, terdapat kesamaan faktor-faktor yang diidentifikasi oleh peneliti terdahulu. Adapun perbedaan jumlah faktor sebagai variabel penelitian secara umum disebabkan oleh batasan penelitian yang dilakukan, responden yang terlibat, dan perbedaan objek penelitian. Referensi identifikasi faktor berasal dari sembilan jurnal dari kurun waktu 2000 sampai dengan 2011, satu buku dan dua aturan hukum berupa produk Undang-Undang RI.

Setelah mendapatkan literatur-literatur tersebut maka selanjutnya dilakukan perbandingan, pengumpulan dan penginventarian *Critical Success Factors* (CSF) yang terdapat pada penelitian-penelitian tersebut. Namun tidak seluruh faktor dapat digunakan dalam ruang lingkup penelitian ini. Untuk itu diperlukan seleksi dan penelaahan lebih lanjut terhadap faktor yang relevan dengan kesuksesan hubungan kerja sama antara kontraktor dengan pemasok proyek konstruksi. Proses seleksi melalui proses penggabungan beberapa faktor yang memiliki arti dan maksud yang sama. Langkah berikutnya dilakukan pengelompokan faktor berdasarkan kesesuaian kategori. Faktor-faktor tersebut selanjutnya akan digunakan untuk mengetahui faktor-faktor kesuksesan yang mempengaruhi kesuksesan hubungan kerja sama antara kontraktor dengan pemasok proyek konstruksi.

Penelitian ini akan didasarkan pada survei random sampling dengan menggunakan kuesioner. Kuesioner terdiri dari dua bagian yang terkait dengan proyek dan informasi responden dan CSF kemitraan. Target populasi dalam penelitian ini adalah badan usaha jasa pelaksana konstruksi kualifikasi usaha kecil dan menengah (selanjutnya disebut kontraktor) dan sebagai perusahaan mitra pendukungnya adalah badan usaha jasa pelaksana konstruksi kualifikasi besar (selanjutnya disebut pemasok) di Kabupaten/Kota di lingkungan Propinsi Sumatera Barat. Kontraktor dipilih karena pengalaman mereka dalam berkerja sama dengan pemasok.

2. PEMBAHASAN

Hasil proses penggabungan dan seleksi variabel dari sumber referensi diperoleh 29 (dua puluh sembilan) faktor yang relevan digunakan sebagai variabel penelitian. Faktor-faktor kesuksesan hubungan kerja sama antara klien dan kontraktor akan dielaborasi sehingga akan diperoleh faktor-faktor yang spesifik dan berhubungan dengan tema dan ruang lingkup dari penelitian ini yaitu hubungan kerja sama antara kontraktor dengan pemasok. Tabel 1 menyajikan faktor kesuksesan hubungan kerja sama proyek yang telah diidentifikasi dari hasil penelitian terdahulu.

Tabel 1. Faktor-faktor yang mempengaruhi kesuksesan hubungan kerja sama proyek konstruksi

No	Faktor Kesuksesan Hubungan Kerja Sama	Referensi									
		Chan et al. (2004)	Cheng et al. (2000)	Black et al. (2000)	Dikmen et al. (2008)	Awodele et al. (2007)	Chen dan Kao (2010)	Wu et al. (2008)	Mattessich dan Monsey (1992)	Wong dan Cheung (2005)	Adnan et al. (2011)
1	Komunikasi yang efektif	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	Penyelesaian konflik yang produktif	✓			✓			✓		✓	
3	Komitmen dari Pemilik Perusahaan	✓	✓		✓	✓					
4	Keterlibatan dari Pemilik Perusahaan	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
5	Ketersediaan waktu								✓		
6	Ketersediaan anggaran			✓		✓	✓		✓	✓	
7	Sistem dan gaya manajemen perusahaan			✓		✓	✓		✓	✓	✓
8	Kemampuan dan keadilan manejer proyek yang bagus								✓		
9	Ketersediaan peralatan		✓	✓		✓	✓	✓			
10	Ketersediaan tenaga kerja terampil			✓		✓	✓		✓	✓	
11	Pembagian risiko & manfaat (equity)							✓			✓
12	Efektifitas kolaborasi antar pihak				✓		✓	✓	✓		✓
13	Klausul kontrak yang <i>fairness</i>							✓			✓
14	Konsistensi terhadap tujuan			✓		✓	✓				
15	Koordinasi yang efisien	✓		✓	✓	✓			✓	✓	✓
16	Perspektif biaya total			✓		✓	✓	✓			
17	Tujuan yang sesuai dan jelas		✓					✓	✓	✓	
18	Kepercayaan	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
19	Dedikasi			✓		✓	✓				
20	Kesediaan untuk berbagi sumber daya	✓							✓		
21	Integritas								✓		
22	Akulturas budaya yang sehat			✓	✓		✓	✓	✓		
23	Kemampuan berkompromi								✓		✓
24	Keterbukaan							✓		✓	
25	Pengelolaan tim proyek							✓	✓		
26	Komitmen kepada kualitas			✓		✓	✓				
27	Komitmen untuk Sikap <i>Win-Win</i>	✓			✓	✓		✓			
28	Komitmen untuk perbaikan berkelanjutan			✓				✓			
29	Pengalaman/ Riwayat kolaborasi										✓

2.1 Faktor Kesuksesan Hubungan Kerja Sama

Komunikasi yang efektif dibutuhkan untuk mensosialisasikan kebijakan, hasil kerja proyek dan melakukan koordinasi dan komunikasi dengan seluruh komponen proyek. Kurangnya komunikasi yang efektif selalu menyebabkan kesalahpahaman (Thomsett, 2002). Selain itu akan berdampak pada pengambilan keputusan yang salah dikarenakan kurang lengkapnya informasi (Burke, 1999). Karena perbedaan dalam tujuan dan harapan,

masalah bertentangan biasa ditemui di antara para pihak. Penyelesaian konflik yang produktif dilakukan pihak yang bertikai dengan mencari solusi yang saling memuaskan, dan ini dapat dicapai dengan pemecahan masalah bersama untuk mencari alternatif solusi. Pemilik perusahaan merumuskan strategi dan arah kegiatan bisnis, komitmen dan dukungan penuh pemilik perusahaan sangat penting dalam memulai dan memimpin semangat bermitra (Cheng et al. 2000). Keterlibatan dari pemilik perusahaan adalah suatu pendekatan kolaboratif yang baik untuk memastikan bahwa kerja sama terkait dengan niat strategis perusahaan; dan harus menggerakkan visi kerja sama melalui organisasi yang memiliki struktur yang kuat dengan kepemimpinan terpusat atau memberikan aturan yang jelas untuk pengambilan keputusan. Ketersediaan waktu berarti memiliki waktu yang cukup memadai dan konsisten untuk mendukung kolaborasi.

Ketersediaan anggaran maksudnya memiliki sumber keuangan yang memadai dan konsisten untuk mendukung operasi. Sistem dan gaya manajemen perusahaan yang memiliki fleksibilitas untuk perubahan (dinamis). Kemampuan dan keadilan manajer proyek yang bagus diantaranya kemampuan teknis, kepemimpinan, kompetensi administrasi dan keadilan yang dirasakan dari manajer proyek dapat secara langsung mempengaruhi kesediaan subkontraktor untuk mempertahankan hubungan jangka panjang dengan kontraktor utama (Sears *et al.*, 2008). Ketersediaan peralatan kebutuhan alat yang sesuai dengan metode kerja dan tingkat kesiapan fisik alat. Penggunaan alat yang tepat dan sesuai fungsi akan mendorong pelaksanaan pekerjaan yang lebih baik. Ketersediaan tenaga kerja terampil yang telah mengikuti pelatihan-pelatihan dan memiliki sertifikat. Tenaga kerja terampil dalam tahap pelaksanaan akan mendorong produktivitas pekerjaan. Karena adanya dominasi pembeli dalam hubungan, dapat terjadi kondisi dimana keuntungan bersama dan risiko tidak dibagikan secara proporsional sehubungan dengan investasi dari berbagai pihak (Lehtonen, 2004). Penting bahwa pihak menghindari perilaku oportunistik karena berpotensi menimbulkan bahaya pada hubungan kedua belah pihak.

Penerapan retensi harus dilakukan dengan memprioritas kebijakan untuk merampingkan persyaratan retensi dan melakukan upaya untuk mempercepat pembayaran retensi akhir kepada mitra. Efektifitas kolaborasi antar pihak menggambarkan tingkat partisipasi yang tinggi di antara para pihak yang dapat membantu menciptakan suatu komitmen untuk solusi yang disepakati bersama (Cheng *et al.*, 2000). Kerja sama diperlukan untuk mengatasi potensi kesalahpahaman dan kesulitan koordinasi yang dapat timbul dari perbedaan dalam praktik manajerial atau organisasi (Das dan Teng 1998). Klausul kontrak yang *fairness* memiliki arti komitmen bersama dalam menyusun klausul kontrak yang saling menguntungkan kedua belah pihak.

Konsistensi terhadap tujuan adalah tindakan strategis dari masing-masing organisasi yang dapat menyatu dan mengikat organisasi secara bersama dan menetapkan arah, nilai dan aktivitas perusahaan demi mencapai tujuan kemitraan. Koordinasi yang efisien menghasilkan pencapaian stabilitas dalam suatu lingkungan yang tidak pasti dan dapat dicapai dengan peningkatan kontak poin dan berbagi informasi proyek antar pihak (Bayramoglu 2001). Perspektif biaya total yaitu mempertimbangkan biaya keseluruhan dalam penyelesaian suatu jenis pekerjaan, baik itu biaya desain, biaya perolehan, biaya penyimpanan, biaya pengerjaan dan biaya pemeliharaan. Tujuan yang sesuai dan jelas adalah sasaran strategis individu organisasi yang dapat menyatu untuk membentuk tujuan kemitraan dan membantu merekatkan organisasi dan menetapkan arah, nilai, dan kegiatan terkait dalam rangka mencapai kepuasan yang diharapkan mitra.

Kepercayaan adalah keyakinan bahwa mitra dapat diandalkan dalam memenuhi kewajiban mereka dalam hubungan. Sangat penting untuk 'membuka' batas-batas dari hubungan karena dapat menghilangkan stres dan meningkatkan kemampuan beradaptasi, pertukaran informasi, pemecahan masalah bersama, dan pemenuhan janji yang lebih baik (Mohr dan Spekman 1994; Cheng et al. 2000; Bayramoglu 2001). Dedikasi menunjukkan tindakan yang diperlukan untuk mencapai perubahan yang diinginkan (Cheng et al., 2000). Kesediaan untuk berbagi sumber daya dari setiap pihak dengan mitra dalam rangka menyelesaikan pekerjaan. Integritas merupakan pemahaman dari keinginan peserta untuk melindungi kepentingan mitra dalam proyek konstruksi.

Akulturasi budaya yang sehat merupakan percampuran kebudayaan/ kebiasaan antar mitra yang saling mempengaruhi namun tetap dalam suasana yang *smooth*. Kemampuan berkompromi adalah kesanggupan dalam mencapai kesepakatan atau penyelesaian sengketa oleh masing-masing pihak yang membuat konsesi. Keterbukaan adalah konsep yang dicirikan oleh penekanan pada transparansi dan akses tidak terbatas ke pengetahuan dan informasi, serta manajemen kolaboratif atau kooperatif dalam pengambilan keputusan daripada otoritas pusat. Pengelolaan tim proyek menurut Ritz (1994) adalah tindakan pembatasan, koordinasi, dan mengatur sesuai dengan rencana untuk mencapai tujuan proyek yaitu hasil proyek yang berkualitas, tepat waktu, dan sesuai anggaran. Dan tindakan pengaturan lokasi pekerjaan oleh kontraktor terhadap penempatan pekerja, peralatan, material proyek di lapangan. Komitmen kepada kualitas merupakan perspektif kualitas jangka panjang yang dianggap sebagai kesediaan pihak-pihak yang terlibat untuk mengelola masalah tak terduga terus menerus. Komitmen untuk Sikap *Win-Win* memiliki arti bekerja lebih keras untuk mencegah perbedaan yang mempengaruhi kinerja, untuk membuat dan memelihara hubungan yang baik dengan mitra mereka dan dengan demikian mereka cenderung tidak membiarkan perbedaan pendekatan fungsional menghasilkan konflik dan berdampak negatif terhadap kinerja. Komitmen untuk perbaikan berkelanjutan merupakan kesediaan seseorang atau organisasi untuk mengarahkan upaya peningkatan berkelanjutan dari produk, program, layanan, atau proses (Blazey, 2006) dengan cara yang hemat biaya. Disamping juga memperhatikan pengurangan sisa/*waste* dan peningkatan kreativitas.

Iklim politik dan sosial yang menguntungkan dimana pembuat kebijakan tidak menolak tujuan kolaborasi. Iklim politik dan sosial bertindak sebagai eksternal positif motivator untuk berkolaborasi. Pengalaman/ Riwayat kolaborasi menghasilkan beberapa ide kreatif dari kontraktor berpengalaman yang dapat dibagi untuk mengembangkan bisnis saat ini menjadi bisnis yang lebih besar sesuai dengan tuntutan industri konstruksi saat ini.

2.2 Kelompok faktor kesuksesan hubungan kerja sama proyek konstruksi

Hasil kajian terhadap penelitian terdahulu, faktor-faktor kesuksesan hubungan kerja sama dapat dikelompokkan menjadi beberapa kategori faktor diantaranya :

a. Komunikasi

Komunikasi yang akurat dan tepat waktu antara pihak-pihak sangat penting untuk mencapai keberhasilan proyek. Industri konstruksi digambarkan sebagai industri yang sangat terfragmentasi, adanya saling ketergantungan di antara pihak yang terlibat sehingga mengharuskan untuk saling berbagi informasi (Bowen dan Edwards, 1996).

b. Dukungan dari manajemen puncak

Manajemen senior merumuskan strategi dan arah kegiatan bisnis, dukungan dan komitmen penuh mereka sangat penting dalam memulai dan memimpin semangat bermitra (Cheng *et al.*, 2000). Komitmen dan dukungan dari manajemen puncak selalu menjadi prasyarat untuk proyek kemitraan yang sukses (Harback *et al.*, 1994; Slater, 1998).

c. Sumber daya

Sumber daya yang semakin langka dan persaingan untuk memperolehnya akhirnya menyebabkan suatu organisasi tidak biasa untuk berbagi sumber daya sendiri dengan orang lain. Sumber daya utama meliputi pengetahuan, teknologi, informasi, keterampilan dengan spesialisasi, dan modal. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan pentingnya sumber daya bersama (CII 1991; Brooke dan Litwin 1997; CIB 1997). Hal ini juga penting untuk memastikan penggunaan maksimum sumber daya bersama. Sumber daya pelengkap dari pihak berbeda tidak hanya dapat digunakan untuk memperkuat daya saing dan konstruksi kemampuan hubungan kemitraan (Cheng *et al.*, 2000) tetapi dapat menjadi kriteria utama untuk menilai kesuksesan kemitraan.

d. Ekuitas hubungan

Kepentingan semua stakeholders harus dipertimbangkan ketika pengembangan tujuan, risiko dan manfaat harus dibagi secara adil. Harus ada komitmen untuk memenuhi kebutuhan masing-masing pemangku kepentingan untuk memastikan kepuasan dan keberhasilan proyek (Ng *et al.*, 2002).

e. Tujuan bersama

Tujuan bersama memastikan bahwa kepentingan setiap pihak seperti penyelesaian proyek sesuai jadwal, sesuai anggaran, peningkatan efektivitas biaya, dan pembagian tugas kerja yang proporsional akan menghasilkan pelayanan yang terbaik (Chen dan Chen, 2007).

f. Karakteristik keanggotaan

Karakteristik keanggotaan terdiri dari keterampilan, sikap dan pendapat individu dalam kelompok kerja sama, serta budaya dan kapasitas organisasi yang membentuk kelompok kolaboratif.

g. Proses

Proses atau struktur mengacu pada manajemen, pengambilan keputusan dan sistem operasional dari upaya kerja sama. Anggota berbagi andil dalam proses dan hasil, setiap level berpartisipasi dalam pengambilan keputusan, fleksibilitas, pengembangan peran dan pedoman kebijakan yang jelas serta kemampuan beradaptasi.

h. Lingkungan

Karakteristik lingkungan terdiri dari lokasi geografis dan konteks sosial di mana kelompok kerja sama berada. Kelompok ini mungkin dapat mempengaruhi atau dipengaruhi elemen-elemen ini dalam beberapa cara; tetapi tidak memiliki kendali atas mereka.

Faktor-faktor yang telah diidentifikasi selanjutnya dikelompokkan berdasarkan kesamaan arti, seperti yang terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Faktor Kesuksesan Hubungan Kerja Sama

No	Faktor yang mempengaruhi kesuksesan hubungan kerja sama antara kontraktor dan pemasok
A	Komunikasi
1	Komunikasi yang efektif
2	Penyelesaian konflik yang produktif
B	Dukungan dari manajemen puncak
1	Komitmen dari Pemilik Perusahaan

2	Keterlibatan dari Pemilik Perusahaan
C	Sumber daya
1	Ketersediaan waktu
2	Ketersediaan anggaran
3	Sistem dan gaya manajemen perusahaan
4	Kemampuan dan keadilan manajer proyek yang bagus
5	Ketersediaan peralatan
6	Ketersediaan tenaga kerja terampil
D	Ekuitas hubungan
1	Pembagian risiko & manfaat (equity)
2	Efektifitas kolaborasi antar pihak
3	Klausul kontrak yang <i>fairness</i>
E	Tujuan bersama
1	Konsistensi terhadap tujuan
2	Koordinasi yang efisien
3	Perspektif biaya total
4	Tujuan yang sesuai dan jelas
F	Karakteristik keanggotaan
1	Kepercayaan
2	Dedikasi
3	Kesediaan untuk berbagi sumber daya
4	Integritas
G	Proses
1	Akulturasikan budaya yang sehat
2	Kemampuan berkompromi
3	Keterbukaan
4	Pengelolaan tim proyek
5	Komitmen kepada kualitas
6	Komitmen untuk Sikap <i>Win-Win</i>
7	Komitmen untuk perbaikan berkelanjutan
H	Lingkungan
1	Pengalaman/ Riwayat kolaborasi

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dari berbagai sumber literatur yang telah dihimpun dalam penelitian ini, maka diperoleh kesimpulan dan saran terkait dengan identifikasi faktor yang mempengaruhi kesuksesan hubungan kerja sama antara kontraktor dan pemasok.

3.1 Kesimpulan

Terdapat 29 (dua puluh sembilan) faktor yang mempengaruhi kesuksesan hubungan antara kontraktor dan pemasok proyek konstruksi yang dikelompokkan ke dalam delapan kategori yang berhubungan dengan kerja sama.

3.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya, perlu dilakukan analisis untuk mengetahui faktor kritis yang paling berpengaruh terhadap kesuksesan hubungan kerja sama antara kontraktor dengan pemasok proyek konstruksi. Penelitian ini diharapkan bermanfaat dan memberikan kontribusi bagi ilmu pengetahuan terkait dengan hubungan kerja sama dalam proyek konstruksi khususnya antara kontraktor dan pemasok. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan kepada pihak pemerintah dalam memberikan aturan atau pedoman pelaksanaan kolaborasi dalam kontrak konstruksi.

PUSTAKA

A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK). 2013. 5th Edition, Project Management Institute.

Adnan, H., Heap-Yih, C., Idris, M.H., and Ahmad, N. 2011. Partnering for small medium contractors in Malaysia. *African Journal of Business Management*, Vol.5 (35), pp. 13364-13372.

- Awodele, O.A. and Ogunsemi, D.R. 2007. An Assessment of Success Factors and Benefits of Project Partnering in Nigerian Construction Industry. *Proceeding W-092- Special Track 18th CIB World Building Congress May 2010, Salford, United Kingdom*. CIB Publication 344. pp. 180-194.
- Anvuur, A. M. and Kumaraswamy, M. M. 2007. Conceptual model of partnering and alliancing. *Journal of Construction Engineering Management*, vol. 133, pp. 225-234.
- Babu, S.S., dan Sudhakar. 2015. Critical Success Factors Influencing Performance of Construction Projects. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 4, 3285-3292.
- Bayramoglu, S. 2001. Partnering In Construction: Improvement through Integration And Collaboration. *Leadership and Management in Engineering*, (1), pp. 39-43.
- Bennett, J., Jayes, S. 1998. *The Seven Pillars of Partnering: Guide to Second Generation Partnering*. Thomas Telford. London. UK.
- Black, C., Akintoye, A., dan Fitzgerald, E. 2000. An analysis of success factors and benefits of partnering in construction. *International Journal of Project Management*, vol. 18, pp. 423-434.
- Blazey, M. 2006. *Performance Excellence*. ASQ. Quality Press. Milwaukee. WI.
- Bowen, P. A. and Edwards, P. J. 1996. Interpersonal communication in cost planning during the building design phase. *Construction Management and Economics*, vol. 14, no. 5, pp. 395-404.
- Bresnen, M. and Marshall, N. 2000. Partnering in construction: a critical review of issues, problems and dilemmas. *Construction Management and Economics*, vol. 18, 229-237.
- Bresnen, M. & Marshall, N. 2002. The engineering or evolution of co-operation? A tale of two partnering projects. *International Journal of Project Management*, 20 (7), 497-505.
- Burke, R. 1999. *Project Management : Planning and Control Technique*. England: Promatec International
- Chan, A. P. C., Chan, D. W. M., Chiang, Y. H., Tang, B. S., Chan, E. H. W., and Ho, K. S. K. 2004. Exploring critical success factors for partnering in construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, pp. 188-198.
- Chandra, H.P., Fibriyanti, I., Messah, Y. A. 2002. Analisa Studi tentang Kemitraan antara Pengembang dengan Kontraktor. *Dimensi Teknik Sipil*, Vol. 4 No. 2 September 2002 Hal. 19-24.
- Chen, W.T., Chen, T.-T. 2007. Critical success factors for construction partnering in Taiwan. *International Journal of Project Management*, vol. 25, page 475-484. Elsevier Ltd and IPMA.
- Chen, T.T., and Kao, C.H . 2010. A Study of identifying success variables for construction partnering via sem framework. *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 18, No. 5, pp. 629-636.
- Cheng, E. W. L., Li, H. 2002. Construction partnering process and associated critical success factors: Quantitative investigation. *Journal of Management in Engineering*, pp. 194-202.
- Cheng, E. W. L., Li, H. and Love, P. E. D. 2000. Establishment Of Critical Success Factors For Construction Partnering. *Journal of Management in Engineering*, Vol. 16, No. 2, pp. 84-92.
- Conley, M. A., Gregory, R. A. 1999. Partnering applications on small construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 125, No. 5, pp. 320-324.
- Construction Industry Institute (CII). 1991. *In search of partnering excellence*. Publication No. 17-1, Rep. CII, Austin, Tex.

- Das, T. K., and Teng, B. 1998. Between trust and control: developing confidence in partner cooperation in alliances. *Academy of Management Review*, 23(3), pp. 491-512.
- Dikmen, I., Birgonul, M. T., Ozorhon, B. and Eren, K. 2008. Critical success factors for partnering in the Turkish construction industry. *A (Ed) Procs 24th Annual ARCOM Conference*, 1-3 September 2008, Cardiff, UK, Association of Researchers in Construction Management, 1013-1022.
- Ellinger, A. E. 2000. Improving Marketing/Logistics Cross-Functional Collaboration in the Supply Chain. *Industrial Marketing Management*, 29 (1), 85-96.
- Eren, K. 2007. *Critical Success Factors for Partnering in The Turkish Contruction Industries*. Thesis. The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University. Turki.
- Fawcett, S. E. & Magnan, G. M. 2002. The rhetoric and reality of supply chain integration. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32 (5), 339-3 61.
- Harback, H. F., Basham, D. L., and Buhts, R. E. 1994. Partnering paradigm. *Journal of Management in Engineering*, 10 (1), 23-27.
- Lehtonen, T. 2004. Attributes and success factors of partnering relations-a theoretical frameworking for facility services. *Nordic Journal of Surveying and Real Estate Research-Special Series*, No. 2, pp. 31-46.
- Mattessich, P. W., Monsey, B.R. 1992. *Collaboration: What Makes It Work, A Review of Research Literature on Factors Influencing Successful Collaboration*. The Amherst H. Wilder Foundation. USA.
- Mohr, J. And Spekman, R. 1994. Characteristics of Partnership Success: Partnership Attributes, Communication Behavior, and Conflict Resolution Techniques. *Strategic Management Journal*, Vol. 15, 135-152.
- Ng, S. T., Rose, T. M., Mak, M. and Eng, S. 2002. Problematic issues associated with project partnering : the contractor perspective. *International Journal of Project Management*, vol. 20, pp. 437-449.
- Planning Advisory Service. 2007. Real collaboration; a guide to establishing effective collaborative relationships in planning service. Improvement and Development Agency. London.
- Republik Indonesia. 2008. Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2008 tentang Usaha Mikro Kecil dan Menengah.
- Republik Indonesia. 2017. Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi.
- Republik Indonesia. 2015. Peraturan Presiden Nomor 4 Tahun 2015 tentang Pengadaan Barang dan Jasa Pemerintah.
- Ritz, G. J. 1994. *Total Construction Project Management*. McGraw-Hill. USA.
- Sears, S. K., Sears, G. A., Clough, R. H. 2008. *Construction Project Management - A Practical Guide to Field Construction Management (5th ed.)*. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons, Inc.
- Slater, T. S. 1998. Partnering: Agreeing to agree. *Journal of Management in Engineering*, 14(6), 48-50.
- Soeharto, I. 2001. *Manajemen Proyek: Dari Konseptual Sampai Operasional*. Erlangga, Jakarta.
- Soeparto, H.G., Trigunaryah, B. 2005. Industri Konstruksi Indonesia : Masa Depan dan Tantangannya. Institut Teknologi Bandung.
(https://www.researchgate.net/profile/Bambang_Trigunaryah2/publication/265864745, diakses 5 April 2018)
- Thomsett, R. (2002). *Radical Project Management*. Upper Saddle River (NJ) : Prentice Hall PTR.
- Wong, P. S. P., and Cheung, S.,O. 2005. Structural Equation Model of Trust and Partnering Success. *Journal of Management in Engineering*, Vol. 21, No. 2, April 1, 2005, pp.70-80.

Wu, S., Greenwood, D., and Steel, G. 2008. Exploring the Atributes of Collaborative Working in Construction Industry. *Northumbria Built and Virtual Environtment Working, Paper Series*, vol. 1, no. 2, hal. 135-147.

FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KONTRAKTOR MENGADOPSI TEKNOLOGI BETON PRACETAK

Jaka Aditya Rama Pranajaya

Magister Manajemen Proyek Konstruksi, Sekolah Pascasarjana Universitas Katolik Parahyangan

Jalan Merdeka No. 30 Bandung

Telp. (022) 4202351, 4205090, 4213556, 4213470

E-mail: archiaditya@gmail.com

ABSTRAK

Penerapan teknologi banyak dikembangkan pada industri konstruksi dan disadari dapat meningkatkan produktivitas dan mempercepat pelaksanaan pekerjaan konstruksi. Teknologi beton pracetak yang sudah lama hadir di industri konstruksi Indonesia yaitu sejak tahun 1979 dengan membawa keunggulan yang lebih baik dari beton konvensional tidak serta merta menjadikan teknologi pracetak sebagai primadona di industri ini. Dalam perjalanannya industri pracetak di Indonesia memiliki pasar yang terbatas dengan persaingan yang lebih rendah. Penerimaan teknologi beton pracetak di industri konstruksi Indonesia masih memberikan banyak pertimbangan kepada kontraktor. Bersumber dari literatur-literatur yang dikumpulkan, hasil invensi pada literatur industri lain peneliti akan merumuskan model adopsi teknologi di dunia konstruksi dan mengetahui faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi kontraktor mengadopsi teknologi pracetak. 28 faktor ditemukan dan terbagi kedalam faktor *relative advantage*, *compatibility*, *complexity triability*, dan *observability*. Menggunakan *Technology Acceptance Model (TAM)* yang memiliki konstruk dan kemudahan penggunaan sebagai konstruk utama diharapkan mampu menjawab niat perilaku kontraktor mengadopsi teknologi beton pracetak.

Kata Kunci: Technology Acceptance Model, Beton Pracetak, Adopsi Teknologi.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penerapan teknologi telah banyak dikembangkan pada industri konstruksi dan disadari dapat meningkatkan produktivitas dan mempercepat pelaksanaan pekerjaan konstruksi ketika teknologi konstruksi diterapkan. Contoh, pada sektor perencanaan, penggunaan alat konvensional seperti pensil, pulpen dan meja gambar untuk menghasilkan ide desain dan gambar kerja telah digantikan dengan piranti keras (*hardware*) dan piranti lunak (*software*) komputer seperti *Computer Aided Design (CAD)* dan *3D Max*. Aplikasi-aplikasi komputer ini terbukti dapat menghemat waktu pekerjaan perencanaan dan dapat menekan biaya perencanaan dibandingkan menggunakan alat konvensional.

Heesom dan Mahdjoubi (2004) menyatakan bahwa penggunaan simulasi CAD 4D memiliki potensi signifikan dalam industri konstruksi. Simulasi 4D memiliki dampak positif pada fase prakonstruksi dan fase konstruksi. Ketika teknologi 4D dipakai, terjadi penghematan biaya dan peningkatan produktivitas terlihat. Penggunaan simulasi CAD 4D juga memungkinkan penghematan yang harus dilakukan pada proyek konstruksi dan dapat mengidentifikasi masalah sebelum konstruksi serta menghindari *re-work* selama proyek berlangsung.

Proses konstruksi di sektor pengawasan dan pelaksanaan juga memiliki inovasi-inovasi yang mendukung pelaksanaan proyek konstruksi. Baru-baru ini Navigant (2016) memaparkan enam teknologi yaitu *3D Printing*, *4D BIM* dan *4D Scheduling*, *Augmented Reality (AR)*, *Autonomous Construction*, *BIM* dan *Virtual Design Construction (VDC)*, dan *Digital Future*. memiliki dampak positif pada manajemen proyek, manajemen klaim konstruksi dan penghindaran klaim.

Gunhan dan Arditi (2005) menyatakan bahwa faktor teknologi memiliki peran vital dalam industri konstruksi. Teknologi sering menjadi salah satu senjata paling efektif yang memungkinkan perusahaan konstruksi menembus pasar luar negeri. Hal ini terutama berlaku untuk proyek di negara berkembang dimana ada kebutuhan mendesak untuk memiliki yang terbaik dan terbaru. Jin et al (2013) menemukan bahwa tingkat kinerja perusahaan konstruksi dipengaruhi oleh tujuh indikator penilaian, di mana teknologi konstruksi menjadi sub indikator di dalam *Learning Growth* yaitu *Efficiency of research and development (R&D) input and output* dan *Application of IT*.

Dalam perjalanannya, teknologi industri konstruksi dirasakan sangat lambat jika berkaca pada industri telekomunikasi atau industri lainnya. Data dari Agen Federal menunjukkan produktivitas industri konstruksi khususnya Amerika Serikat (AS) memiliki sejarah penurunan yang panjang dan berlanjut hingga saat ini.

Professor Riset Teknik sipil Universitas Emeritus, Paul Teicholz pernah mengatakan bahwa:

“Jika anda melihat produktivitas tenaga kerja industri manufaktur telah lama lepas landas dengan tingkat 5% – 6% per tahun sedangkan industri konstruksi telah mengalami penurunan produktivitas pada tingkat sekitar 0,32% per tahun” .

(The National Society of Professional Engineers, 2014).

Industri konstruksi memang tidak sepenuhnya merangkul pemanfaatan teknologi dalam pelaksanaan berkonstruksi. Bagi sebagian orang, biaya dan risiko penerapan teknologi baru melebihi manfaat yang dirasakan.

Orang lain mungkin enggan untuk pindah dari zona nyaman mereka. Salah satu survei *Dodge Data and Analytics* mengenai teknologi *Building Information Management (BIM)* dan *Virtual Design and Construction (VDC)* menunjukkan bahwa *BIM* dan *VDC* dipakai terutama oleh perusahaan besar di industri konstruksi, karena biaya dan kesulitan penerapan *BIM* dan *VDC* adalah rintangan tinggi untuk perusahaan desain dan konstruksi menengah dan kecil. Selain itu, ada banyak sekali tantangan lain yang terkait dengan penggunaan *BIM* dalam proses perancangan dan konstruksi yang juga sulit untuk diatasi (Navigant, 2016).

Indonesia sendiri sebagai negara berkembang yang masih gencar dalam pembangunan infrastrukturnya juga, memiliki fenomena yang sama dalam penerapan teknologi yang ada, contoh, penggunaan teknologi beton pracetak. Penggunaan teknologi beton pracetak terbukti mengungguli beton konvensional berdasarkan kriteria keselamatan kerja (Khakim et al., 2011), kekuatan struktur terjamin (Khakim et al., 2011; Irianie, 2013; Dewi, 2011), mutu hasil produksi terjamin (Khakim et al, 2011; Dewi, 2011), waktu pelaksanaan pekerjaan di lapangan lebih singkat (Khakim et al, 2011; Wijaya dan Dinariana, 2012; Dewi, 2011; Adiasa et al, 2015; Sijabat dan Nurjaman, 2007 dalam Abduh, 2007; Nurjannah, 2011; Rani dan Fuadi, 2016), dan tidak dipengaruhi oleh perubahan cuaca (Khakim et al, 2011; Wijaya dan Dinariana, 2012; Dewi, 2011;), selain itu penggunaan beton pracetak bisa dilakukan dengan lebih terkontrol, memenuhi efisiensi energi, dan mendukung pelestarian lingkungan (Irianie, 2013; Wijaya dan Dinariana, 2012; Nurjannah, 2011).

Melihat kehadiran teknologi beton pracetak yang sudah lama hadir di industri konstruksi Indonesia yaitu sejak tahun 1979 (Sijabat dan Nurjaman, 2007 dalam Abduh, 2007) dengan membawa keunggulan yang lebih baik dari beton konvensional tidak serta merta menjadikan teknologi pracetak sebagai primadona di industri ini. Dalam perjalanannya industri pracetak di Indonesia memiliki pasar yang terbatas dengan persaingan yang lebih rendah. Dengan demikian industri ini tidak terlalu menarik dan hanya berpotensi memberikan keuntungan marginal (Sijabat dan Nurjaman, 2007 dalam Abduh, 2007).

Tidak mengherankan bahwa berdasarkan data *Global Ranking Logistic Performance Indeks (LPI)* yang dikeluarkan World Bank 2016, indeks kualitas infrastruktur Indonesia berada di peringkat 63, mengalami penurunan peringkat dibandingkan tahun 2014 yang berada di peringkat 53. Peringkat kualitas infrastruktur Indonesia masih dibawah Singapura yang LPI-nya 5, Malaysia (32), Thailand (45). Di ASEAN, peringkat Indonesia hanya lebih tinggi dari negara Vietnam (64), Filipina (71), Kamboja (73), Myanmar (113) dan Laos (152). (<http://industri.bisnis.com/read/20160824/45/578140>, diakses tanggal 12 Oktober 2017).

Berdasarkan data Asosiasi Perusahaan Pracetak dan Prategang Indonesia (AP3I) saat ini baru 25,45 juta ton atau sekitar 18,6 persen penggunaan beton pracetak sedangkan Kementerian PUPR menargetkan penetrasi beton pracetak dan prategang sebesar 30 persen pada 2019. Teknologi pracetak dan prategang untuk beton sudah dikuasai oleh industri dalam negeri. Pentingnya dorongan, sosialisasi yang masif dan contoh pemakaian oleh pihak terkait masih sangat dibutuhkan. (<https://www.antaraneews.com/berita/584301/kemen-pupr-penetrasi-beton-pracetak-30-persen-di-2019>, diakses tanggal 11 November 2017).

Penerimaan teknologi beton pracetak di industri konstruksi Indonesia masih memberikan banyak pertimbangan kepada kontraktor. Selain pertimbangan biaya yang dianggap lebih tinggi (Khakim, 2011; Rani dan Fuadi, 2016) juga dibutuhkan investasi yang besar (Wijaya dan Dinariana, 2012; Sianturi, 2012), perencanaan awal yang rumit sehingga membutuhkan analisa yang lebih detail dan kebutuhan peralatan pada saat produksi dan transportasi (Wijaya dan Dinariana, 2012; Dewi, 2011; Sianturi, 2012) dan teknologi beton pracetak juga dianggap hanya cocok pada pekerjaan berulang/komponen sejenis (Irianie, 2013; Dewi, 2011) hal ini menjadi pertimbangan risiko bagi kontraktor. Keengganan untuk meninggalkan metode konvensional dan bergerak keluar dari zona nyaman merupakan faktor-faktor yang sering muncul di dalam perusahaan-perusahaan itu sendiri, masih banyak pertimbangan-pertimbangan yang mungkin tidak terlihat jelas dari kacamata kontraktor sehingga penerapan teknologi pracetak di Indonesia bergerak sangat lambat dibandingkan dengan industri-industri lainnya.

1.2 Rumusan Masalah

Beberapa penelitian yang ditemukan mempersepsikan keuntungan dan kendala dalam penerapan teknologi beton pracetak namun belum ada penelitian yang mendalam untuk menilai faktor-faktor tersebut berkorelasi terhadap tingkat adopsi teknologi beton pracetak bagi kontraktor serta seberapa besar tingkat adopsi teknologi beton pracetak saat ini. Untuk itu, penelitian ini ditujukan untuk menyusun model yang sesuai dalam pengukuran tingkat adopsi teknologi beton pracetak di industri konstruksi yang sudah dimiliki namun belum sepenuhnya diterapkan secara maksimal oleh kontraktor-kontraktor di Indonesia.

Winarko dan Mahadewi (2013) merangkum beberapa model teori dasar adopsi teknologi baru; hasilnya terdapat sembilan model untuk mengukur adopsi teknologi yaitu : *Theory of Reasoned Action (TRA)*, *Technology Acceptance Model (TAM)*, *Motivational Model (MM)*, *Theory of Plan Behavior (TPB)*, Kombinasi TAM/TPB, *Model of PC Utilization (MPCU)*, *Innovation Diffusion Theory (IDT)*, *Social Cognitive Theory (SCT)*, *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT)*. Kesembilan model berkembang dari satu model yaitu (TRA) di mana pada dasarnya mengukur teknologi informasi dan komunikasi serta sistem informasi.

1.3 Tujuan

Bersumber dari literatur-literatur yang dikumpulkan, hasil invensi pada literatur industri lain (informasi dan komunikasi dan pertanian), peneliti akan merumuskan model adopsi teknologi di dunia konstruksi dan mengetahui faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi kontraktor mengadopsi teknologi pracetak.

1.4 Tinjauan Pustaka

Definisi

Definisi mengenai model telah dijabarkan oleh Haryati (2012) berdasarkan penelitian Ming et al., 2005; Law dan Kelton (1991) dan Sudarman (1998) menyimpulkan bahwa model adalah suatu desain yang menggambarkan bekerjanya suatu sistem dalam bentuk bagan yang menghubungkan bagan atau tahapan melalui langkah-langkah spesifik dan dapat dipergunakan mengukur keberhasilan untuk tujuan mengembangkan keputusan secara valid. Keabsahan suatu model dapat dipertanggung jawabkan karena model disusun melalui pengkajian teoritis dan prosedur ilmiah.

Teknologi sering dipahami dalam kaitannya dengan proses produksi sebagai sistem ketrampilan, kemampuan dan pengetahuan dimana antara proses dan produk memiliki keterkaitan, lebih lanjut perbedaan proses dan produk dijelaskan yaitu (ESCAP, 1989 dalam Egmond, 2012) :

1. Produk Teknologi : Pengetahuan dan keterampilan yang terkandung dalam suatu proses produksi yang memperlihatkan ciri produk teknologi secara nyata.
2. Proses Teknologi : pengetahuan dan keterampilan yang terkandung dalam transformator input ke dalam barang dan jasa yang dibutuhkan dalam proses produksi dimana transformator terdiri dari empat komponen yang tidak dapat dipisahkan: *technoware* (bahan, perlengkapan, peralatan), *humanware* (orang), *infoware* (*fact documented*, cetak biru, dll) dan *orgaware* (perusahaan dan institusi).

Menurut Gaynor (1996) teknologi adalah:

1. Sarana untuk menyelesaikan sebuah tugas termasuk apapun yang diperlukan untuk mengubah sumber daya menjadi produk atau layanan
2. Mencakup pengetahuan dan sumber daya yang dibutuhkan untuk mencapai suatu tujuan.
3. Badan pengetahuan ilmiah dan teknik yang dapat diterapkan dalam perancangan produk dan/atau proses dalam pencarian pengetahuan baru.

Adopsi teknologi yaitu keputusan untuk memanfaatkan penuh inovasi sebagai tindakan terbaik yang telah tersedia (Roger, 1995 dalam Habets dan Sijde, 2007). Adopsi juga diartikan sebagai langkah-langkah yang diambil oleh pengambil keputusan sebagai pertimbangan untuk menerima atau menolak teknologi baru (Roger, 2003 dalam Sepasgozar et al., 2015). Adopsi juga diartikan sebagai penerimaan, penerapan, penggunaan dan pemanfaatan (Mizar et al., 2008)

Dari literatur yang telah diperoleh model adopsi teknologi dapat diartikan sebagai suatu sistem yang menggambarkan langkah-langkah spesifik untuk mengukur sejauh mana tingkat penerimaan suatu teknologi (dalam hal ini yaitu beton pracetak) telah dimanfaatkan oleh organisasi dalam pengambilan keputusan untuk mencapai tujuan proyek.

Model Adopsi Tekonologi

Model adopsi teknologi dengan pendekatan psikologi telah dikembangkan oleh Davis (1989) yaitu *Technology Acceptance Model* (TAM) untuk mengukur teknologi sistem informasi berdasarkan dari model teori TRA oleh Ajzen dan Fishbien (1980) yang pada dasarnya menggunakan konstruk kegunaan persepsian (*perceived usefulness*) dan kemudahan penggunaan (*perceived ease of use*) sebagai *construct* utama yang akan mempengaruhi niat perilaku individu (*behavioral intention*). Pemakai teknologi akan mempunyai niat menggunakan teknologi jika merasa sistem teknologi bermanfaat dan mudah digunakan. Model teori ini telah dipakai oleh Tubulawony (2010), Akman dan Misra (2015), Hasugian, (2010) untuk mengukur teknologi *e-Procurement*; Lee et al., (2012) mengukur teknologi BIM dan Mathieson et al, (2001) menambahkan Sumber Daya / *Resources* ke dalam TAM menjadi TRAM untuk mengukur sistem informasi pada internal kontraktor.

Son et al. (2012) menyelidiki faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan implementasi perangkat komputer *mobile* dalam industri konstruksi dan mengeksplorasi model penerimaan teknologi TAM, faktor penentu kepuasan pengguna digunakan dalam pertimbangan adopsi teknologi. *Social Influence, Job Relevance, Result Demonstrability, Top Management Support, Training, Technical Support, Technological Complexity, Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, User Satisfaction dan Perceived Performance* merupakan faktor-faktor lain yang digunakan dalam penelitian ini.

Son et al. (2014) membangun pemodelan *Building Information Management* (BIM) yang bertujuan secara empiris memeriksa faktor-faktor yang berpotensi memfasilitasi adopsi arsitek pada teknologi BIM. *Top Management Support, Subject Norm, Compatibility, Facilitating Condition, Computer Self-Efficacy* merupakan faktor dependen, sedangkan *Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use dan Behavioral Intention* adalah faktor dependen yang berasal dari model TAM. Analisis dua tahap dilakukan untuk mengidentifikasi dan memahami faktor-faktor penting yang mengarah pada keberhasilan penerapan BIM dalam organisasi desain. Analisis faktor

konfirmasi dilakukan untuk menilai model pengukuran dalam hal reliabilitas, validitas konvergen dan validitas diskriminan dari *construct*. Selanjutnya masing-masing hipotesis diuji menggunakan pendekatan pemodelan persamaan struktural.

Sepasgozaar (2017) menggunakan model TAM untuk mengukur Scanner technology of 3D models of buildings atau teknologi pemindai model 3D bangunan yang berguna untuk mendapatkan geometri bangunan 3D. Pemindai diaplikasikan pada proyek renovasi gedung universitas untuk diverifikasi hasilnya digunakan untuk membantu memperbaharui gambar konstruksi. Model Scanner Technology Acceptance Model (STAM) digunakan dengan dua kriteria utama yaitu “Kegunaan” dan “Kemudahan Penggunaan” masing-masing diukur berdasarkan variabel dependen yaitu Kinerja yang Diharapkan, Usaha yang Diharapkan, Efikasi/Kemampuan Pengguna, Dukungan Fasilitasi Pelaksanaan, Dukungan Pemeliharaan, Umur Pengguna, Tipe Alat Pemindai dan faktor independen yaitu Niat Pengguna dan Niat Organisasi. Studi kasus terhadap lima proyek dilakukan dan mengevaluasinya dengan memberikan pertanyaan kepada pengguna scanner berdasarkan variabel yang telah dikumpulkan kemudian menyimpulkan variabel yang mempengaruhi adopsi teknologi pemindai.

Adopsi inovasi tidak hanya bergantung pada karakteristik pengusaha, karakteristik dari inovasi potensial itu sendiri merupakan faktor yang mempengaruhi proses adopsi inovasi teknologi. Roger (1995) menegaskan ada lima tingkatan karakteristik yang berbeda yaitu *relative advantage*, *compatibility*, *complexity triability*, dan *observability* (akan dijelaskan pada bab pembahasan).

Inovasi yang dirasakan oleh pengguna potensial memiliki derajat yang tinggi pada *relative advantage*, *compatibility*, *triability*, dan *observability* sedangkan derajat yang rendah pada *complexity* akan diadopsi lebih cepat daripada inovasi lainnya Roger (1995), Tornatzky dan Klein (1982) dalam Habets dan Sijde (2007).

Habets dan Sijde (2007) melakukan penelitian mengenai proses adopsi peralatan aspal inovatif yang digunakan untuk mengangkut aspal di industri konstruksi jalan dan bagaimana pengetahuan mempengaruhi proses. Delapan jenis peralatan dikelompokkan berdasarkan tiga proposisi inovasi dari O'Reilly dan Tushman (2004) yaitu *incremental innovation*, *architectural innovation* dan *discontinuous innovation* yang masing dinilai dengan skala tertentu. Tiga jenis metode digunakan yang pertama melalui studi kasus keputusan adopsi dari dua perusahaan konstruksi jalan yang menggunakan teknologi dan yang tidak menggunakan teknologi untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi adopsi teknologi peralatan pada konstruksi jalan. Kedua, para ahli diminta untuk menyatakan pendapat mereka tentang kemungkinan adopsi delapan tipe peralatan aspal yang memegang posisi kunci di produk aspal, pengepakan aspal, atau perusahaan pengangkutan aspal, lembaga pengetahuan, pemerintah nasional dan sektor spesialis. Mereka diminta untuk menilai masing-masing dari delapan jenis peralatan termasuk faktor pembobotan sesuai dengan karakteristik inovasi yang dikembangkan Rogers (1995) yaitu *Relative Advantage*, *Compatibility*, *Complexity*, *Triability*.

Konsep dan Karakteristik Teknologi Beton Pracetak

Beton pracetak adalah beton yang pembuatan adukan, pengecoran dan perawatannya dikerjakan bukan di tempat tujuan akhir. Jarak perjalanannya mungkin hanya beberapa meter untuk menghindari biaya pengangkutan, atau mungkin ratusan kilometer dengan masih mempertimbangkan biaya pembuatan dan pengangkutan (Elliott, 2002).

Pracetak adalah komponen struktur yang dibangun jauh dari lokasi kemudian dilanjutkan dengan ereksi merupakan metode konstruksi yang seumur dengan beton bertulang itu sendiri (Bachman dan Steinle, 2011).

Istilah beton pracetak dipergunakan untuk menguraikan berbagai jenis varietas unit beton yang dicetak dalam acuan, baik di pabrik maupun di lapangan, dan tidak dipasang pada bangunan sampai bagian ini mengeras sepenuhnya (Murdock dan Brook, 1991 dalam Siswadi dan Ervianto, 2009).

Selanjutnya Wijaya dan Dinariana (2012) mengatakan bahwa pracetak merupakan sebuah metode yang mana komponen dari sebuah gedung seperti kolom, balok, plat lantai, dan lain-lain tidak dicetak ditempat atau dicor pada tempat pemasangan komponen tersebut, melainkan dicetak di pabrik.

Dari pengertian di atas dapat disimpulkan bahwa beton pracetak adalah komponen struktur suatu bangunan yang pengerjaannya dilakukan dipabrik dan akan dirangkai di lokasi proyek setelah umur beton telah mencapai mutu yang disyaratkan.

Adanya permintaan dan pemasokan beton pracetak sangat mempengaruhi jumlah produksi beton pracetak selain itu hambatan-hambatan lain yang mempengaruhi adopsi teknologi beton pracetak dari faktor internal maupun eksternal masih banyak dihadapi.

Penggunaan beton pracetak memiliki karakteristik khusus di mana keterlibatan produsen beton pracetak sangat berpengaruh dalam hal produksi maupun transportasi agar sampai pada pelaksana dan penggunaannya. Sistem rantai pasok pada beton pracetak dapat berpotensi mengalami beberapa risiko, sehingga banyak proyek konstruksi yang mengalami keterlambatan dari jadwal yang ditentukan (Puspita dan Nurcahyo, 2017).

Abduh (2007) menjabarkan lima kekuatan yang menciptakan struktur industri beton pracetak yang dapat menimbulkan daya tarik, tingkat keuntungan serta masa depan industri pracetak yaitu intensitas persaingan antara kompetitor yang ada, halangan untuk masuk ke dalam industri bagi pendatang baru, ancaman produk pengganti, kekuatan penawaran dari pemasok, kekuatan penawaran dari pembeli.

Implementasi dan Hambatan

Wijaya dan Dinariana (2012) dalam penelitiannya menemukan bahwa kelebihan beton pracetak adalah terjadinya *quality control* yang baik, pelaksanaan lebih singkat, tidak terpengaruh cuaca, ramah lingkungan dan lebih ekonomis terhadap biaya. Kekurangan sistem beton pracetak adalah analisa yang lebih rumit, membutuhkan investasi yang besar dan teknologi maju, dibutuhkan kemahiran dan ketelitian, diperlukan peralatan produksi (transportasi dan ereksi).

Beton pracetak pada bangunan rusunawa memiliki manfaat dan keunggulan diantaranya efisiensi biaya bisa mencapai 20% dibandingkan dengan sistem konvensional, kecepatan pelaksanaan dapat dirasakan, hanya dibutuhkan sedikit SDM dibandingkan sistem konvensional pada saat pelaksanaan, menghasilkan dimensi dan mutu yang lebih baik, kontinuitas proses konstruksi dapat terjaga sehingga perencanaan kegiatan lebih akurat, mengurangi *formwork* di lapangan yang mengurangi limbah konstruksi (Abduh, 2007 dalam Dewi, 2011).

Adiasa et al. (2015) melakukan evaluasi penggunaan beton pracetak di proyek konstruksi berdasarkan aspek waktu, biaya, pekerjaan dan dampak lingkungan pada bangunan gedung khususnya beton pracetak *flyslab*. Hasilnya secara keseluruhan plat pracetak *flyslab* lebih murah, lebih cepat, hanya membutuhkan sedikit pekerja, dan ramah terhadap lingkungan bila dibandingkan dengan plat cor konvensional.

Rani dan Fuadi (2016) melakukan penelitian mengenai efisiensi dan efektivitas pelaksanaan struktur kolom antara metode pracetak dengan konvensional pada rusunawa di Banda Aceh berdasarkan biaya dan waktu. Hasilnya biaya beton pracetak diakui lebih mahal daripada biaya konvensional hal ini disebabkan karena metode beton pracetak membutuhkan pekerjaan *erection* dan *grouting* yang meningkatkan biaya produksi precast sedangkan waktu pelaksanaan beton pracetak diakui lebih singkat dari pekerjaan beton konvensional.

Dalam FGD Strategi Percepatan Pembangunan Beton Pracetak dan Prategang sampai tahun 2019 (Suyatna, 2017) hambatan dalam mengembangkan kapasitas dan distribusi beton pracetak dengan cepat adalah keterbatasan SDM manajemen pengembangan industri, lahan dan infrastruktur untuk pengembangan terbatas, kurangnya informasi terkait pasar industri pracetak bagi para investor, jaminan keberlanjutan pasar, kurang *link and match* konsumen dan produsen, masalah perijinan.

Dari sisi penentu kebijakan pengguna jasa, hambatan yang ada diantaranya regulasi teknis yang belum ada, belum tersosialisasi secara luas ke struktural dan satuan kerja, realisasi *demand* sering terlambat. Pada sisi pengguna jasa umum yaitu belum tersosialisasi secara luas ke perencanaan, Manajemen Konstruksi dan pelaksana, aspek teknis (perencanaan, metode pelaksanaan dan efisiensi), aspek informasi teknis produk dan ketersediaan produk (Suyatna, 2017). Pada sisi kontraktor hambatan yang terjadi adalah keterbatasan jumlah kontraktor (produsen, instalator dan pelaksana) belum terlalu banyak, penyebaran tempat produksi belum merata, SDM yang terbatas, keterbatasan teknologi (peralatan pendukung produksi dan instalasi), keterbatasan transportasi dan keterbatasan informasi untuk investor (Suyatna, 2017).

Rusli et al. (2018) melakukan penelitian mengenai faktor-faktor pertimbangan penerapan teknologi precast terhadap kinerja pelaksanaan proyek konstruksi gedung di kota Banda Aceh, faktor yang digunakan adalah faktor biaya, mutu, waktu dan pertimbangan khusus (mengurangi polusi udara, jumlah tenaga kerja lokal, lahan proyek yang sempit, bentuk bangunan yang tipikal, jumlah buangan material bekas). Hasilnya semua faktor memiliki hubungan yang sangat tinggi secara parsial dengan nilai koefisien korelasi, sedangkan faktor yang paling berpengaruh adalah faktor pertimbangan waktu.

Puspita dan Nurcahyo (2017) menganalisis rantai pasok dinding beton pracetak pada proyek pembangunan apartemen puncak dharmahusada Surabaya. Variabel penelitian dibagi menjadi lima aliran yaitu aliran material/fisik dengan 9 indikator, aliran finansial dengan 9 indikator, aliran informasi dengan 10 indikator, aliran relasional dengan 5 indikator dan aliran inovasi dengan 6 indikator. Kuisioner disebarkan kepada kontraktor yaitu *site manager*, manager konstruksi, staff pengadaan, pelaksana, pelaksana struktur, dan pemasok dinding beton yaitu kepala perusahaan dan *quality control*. Penilaian dilakukan dengan skala 0-4 dengan artian tidak terjadi sampai sering terjadi. Hasil penilaian penyebab risiko yang tinggi kemudian dianalisis sesuai dengan dampak terjadinya dan melakukan strategi penanganan.

Tam et al (2007), melakukan penelitian yang salah satu tujuannya untuk menyelidiki keuntungan, kesulitan dan langkah-langkah mengadopsi pracetak. Tujuh keuntungan pracetak yaitu 1) desain pasti pada saat desain awal untuk adopsi pracetak yang lebih baik, 2) pengawasan yang lebih baik untuk meningkatkan kualitas produk pracetak, 3) mengurangi biaya konstruksi secara keseluruhan, 4) mempersingkat waktu konstruksi, 5) kinerja lingkungan ditingkatkan untuk minimasi limbah, 6) integritas pada desain dan konstruksi bangunan dan 7) estetika pada bangunan. Kesulitan menggunakan pracetak adalah 1) tidak fleksibel untuk perubahan desain, 2) biaya konstruksi awal yang tinggi, 3) kurangnya informasi penelitian latar belakang, 4) memakan waktu dalam pengembangan desain awal, 5) kurangnya pertimbangan untuk keuntungan menggunakan metode konstruksi konvensional di lokasi, 6) area proyek terbatas untuk menempatkan komponen bangunan pracetak, 7) masalah kebocoran akan terjadi untuk penggabungan konstruksi konvensional dan pracetak, 8) kurangnya pengalaman pada kontraktor, 9) monoton dalam masalah estetika untuk bangunan gedung, 10) kurangnya permintaan untuk komponen bangunan gedung pracetak.

Nanyam et al (2017) melakukan penelitian mengenai peluang dan tantangan teknologi pracetak dalam implementasinya di India. Dua proyek diambil untuk memeriksa waktu dan biaya pada bangunan pracetak dan konvensional dengan mempertimbangkan antara proyek pracetak dan proyek konvensional memiliki ukuran yang sama. Hasilnya menunjukkan bahwa proyek pracetak lebih cepat selesai dibandingkan proyek konvensional sedangkan biaya (termasuk pekerjaan sipil dan *finishing*) menunjukkan bahwa pracetak membutuhkan lebih banyak biaya daripada proyek konvensional. Tantangan-tantangan terkait dengan proyek pracetak ini adalah investasi yang tinggi di pabrik, kurangnya tenaga kerja terampil, beban tambahan pajak yaitu cukai dan PPN, masalah kebocoran, Join stability issue selama ereksi, kurangnya standarisasi, masalah perubahan desain, kebutuhan untuk peralatan besar dan *stock yard* untuk penanganan material dan penyimpanan, kurangnya keahlian dan pengetahuan teknis, masalah desain yang rumit, keramahan pemilik proyek, penjadwalan *lead time* dan pengiriman, perlunya standar manual dan penentuan daftar harga, transportasi untuk jarak jauh, pendirian layanan Mechanical Electrical dan Plumbing (MEP).

Hasil kajian literatur ini kemudian dirangkum menjadi faktor-faktor yang mempengaruhi kontraktor mengadopsi teknologi beton pracetak.

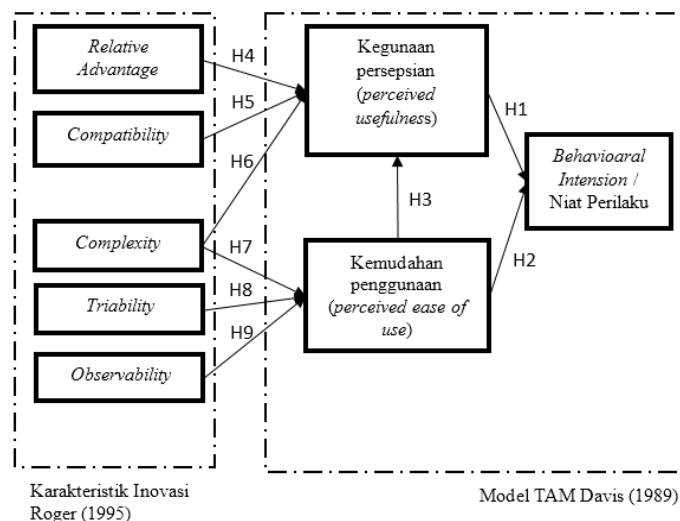
Metodologi Penelitian

Model teori adopsi teknologi dengan pendekatan psikologi yang dikembangkan Davis (1989) dengan konstruk kegunaan persepsian dan kemudahan penggunaan digunakan dalam penelitian ini, selain itu teori model teknologi dengan pendekatan sosial dengan konstruk *relative advantage*, *perceive compatibility*, *perceive complexity*, *perceive triability* dan *observability* yang dikembangkan Roger (1995) juga digunakan karena dianggap mampu menjelaskan karakteristik teknologi pracetak berdasarkan temuan literatur.

Faktor-faktor yang ditemukan dalam teknologi pracetak secara umum mempertimbangkan biaya, mutu, waktu, SDM, pengaruh lingkungan, manajemen pengembangan industri, informasi teknologi, keberlanjutan pasar, perijinan, regulasi, sosialisasi teknologi, jumlah produksi, bentuk/desain proyek dan rantai pasok material produksi.

Model penelitian ini menggunakan pendekatan model teori Davis (1989) dan Roger (1995) yang disesuaikan dengan tema penelitian yaitu teknologi beton pracetak. Dalam penelitian ini, TAM digunakan sebagai dasar untuk menyelidiki niat perilaku/*usage behavior* para kontraktor untuk mengadopsi beton pracetak. menurut TAM perilaku adopsi ditentukan oleh manfaat yang dirasakan/*perceived usefulness* dan persepsi kemudahan penggunaan/*perceived ease of use* sistem itu. Penelitian ini memperluas TAM berdasarkan karakteristik inovasi teknologi beton pracetak. Model dasar TAM telah digunakan juga untuk menjelaskan adopsi teknologi peralatan (contoh : Sepasgozaar (2012); Sepasgozaar (2017)) dengan mengembangkan model TAM berdasarkan teknologi spesifik.

Karakteristik inovasi Roger (1995) digunakan sebagai acuan dalam membangun faktor yang mempengaruhi adopsi teknologi beton pracetak. Dua karakteristik yaitu *Triability* dan *Observability* yang tidak ditemukan dari literatur teknologi beton pracetak kemudian di modifikasi berdasarkan pengertian dari Roger (1995).



Gambar 1. Model Analisis Adopsi Teknologi Beton Pracetak

Gambar 1 menjelaskan konstruk yang dibangun berdasarkan temuan literatur yang berkaitan dengan beton pracetak kemudian dimodifikasi sesuai kebutuhan untuk menilai tingkat adopsi teknologi beton pracetak. Karakteristik *Relative Advantage* dan *Compatibility* merupakan konstruk yang mempengaruhi kegunaan

persepsian yang diartikan sejauh mana teknologi pracetak dapat memberikan keuntungan dan kesesuaian dalam penerapannya sedangkan *Complexity*, *Triability* dan *Observability* merupakan konstruk yang mempengaruhi kemudahan penggunaan yang diartikan sejauh mana teknologi beton pracetak dapat diaplikasikan, dicoba dan diamati dengan mudah. Kedua konstruk ini secara langsung mempengaruhi niat perilaku kontraktor dalam adopsi teknologi beton pracetak.

2. PEMBAHASAN

Berdasarkan pendekatan model teori Davis (1989) dan Roger (1995) yang disesuaikan dengan tema penelitian yaitu teknologi beton pracetak. peneliti kemudian menterjemahkan kesesuaian konstruk yang ada dalam teori model dan mengelompokkan faktor-faktor yang diperoleh dari kajian literatur kedalam model. Penelitian ini menggunakan variabel dan indikator yang telah dikaji pada bab sebelumnya. Variabel tersebut merupakan indikator yang merupakan aktivitas pelaksanaan terkait konsep dan karakteristik teknologi beton pracetak. indikator dan subindikator disajikan pada Tabel 2.1

Tabel 1. Faktor dan Subfaktor Teknologi Beton Pracetak

Kode	Faktor-faktor	Literatur
BI	<i>Behavior Intention</i>	
BI.1	Kapanpun memungkinkan, saya berniat menggunakan teknologi beton pracetak dalam pekerjaan konstruksi	Modifikasi dari Davis (1989) dalam Son et al (2015)
BI.2	Saya berniat menggunakan teknologi beton pracetak sesering yang diperlukan	Modifikasi dari Davis (1989) dalam Son et al (2015)
PU	<i>Perceived Usefulness</i>	
PU.1	Menggunakan teknologi beton pracetak meningkatkan pekerjaan konstruksi	Modifikasi dari Davis (1989) dalam Son et al (2015)
PU.2	Menggunakan teknologi beton pracetak meningkatkan efektifitas saya dalam bekerja	Modifikasi dari Davis (1989) dalam Son et al (2015)
PEOU	<i>Perceived Ease of Use</i>	
PEOU.1	Saya dapat berinteraksi dengan teknologi beton pracetak	Modifikasi dari Davis (1989) dalam Son et al (2015)
PEOU.2	Saya merasa mudah untuk menerapkan teknologi pracetak di proyek konstruksi	Modifikasi dari Davis (1989) dalam Son et al (2015)
PEOU.3	Mempelajari teknologi beton pracetak akan mudah bagi saya	Modifikasi dari Davis (1989) dalam Son et al (2015)
RA	<i>Relative Advantage</i>	
RA.1	Menggunakan teknologi beton pracetak menghasilkan konstruksi yang ramah lingkungan	Wijaya dan Dinariana (2012);Adiasa et al. (2015); Tam et al (2007)
RA.2	Menggunakan teknologi beton pracetak dapat mengurangi total biaya kontruksi	Wijaya dan Dinariana (2012); Abduh, (2007) dalam Dewi, (2011);Adiasa et al. (2015); Rusli et al. (2018); Tam et al (2007); Nanyam et al (2017)
RA.3	Menggunakan teknologi beton pracetak menghasilkan mutu pekerjaan lebih baik	Abduh (2007) dalam Dewi (2011)
RA.4	Menggunakan teknologi beton pracetak mempersingkat waktu pekerjaan	Wijaya dan Dinariana (2012); Abduh, (2007) dalam Dewi, (2011);Adiasa et al. (2015); Rani dan Fuadi (2016); Rusli et al. (2018); Tam et al (2007); Nanyam et al (2017)
RA.5	Menggunakan teknologi beton pracetak dapat mengurangi formwork di lapangan	Abduh, (2007) dalam Dewi, (2011)
CB	<i>Compatibility</i>	
CB.1	Teknologi beton pracetak dapat disesuaikan dengan desain perencanaan yang diinginkan	Rusli et al. (2018); Tam et al (2007)
CB.3	Keterbatasan jumlah produsen, instalator dan pelaksana tidak menjadi kendala kontraktor untuk menggunakan teknologi beton pracetak	Suyatna, (2017); Nanyam et al (2017)
CB.4	Keterbatasan SDM Ahli yang terbatas tidak menjadi kendala kontraktor untuk menggunakan teknologi beton pracetak	Suyatna, (2017); Nanyam et al (2017)
CB.5	Belum regulasi teknis tidak menjadi kendala kontraktor untuk menggunakan teknologi beton pracetak	Suyatna, (2017); Nanyam et al (2017)
CB.6	Informasi produk teknologi beton pracetak dapat ditemukan dengan mudah oleh kontraktor	Suyatna, (2017); Nanyam et al (2017)
CX	<i>Complexity</i>	
CX.1	Menggunakan teknologi beton pracetak mempermudah <i>quality control</i> pada saat pelaksanaan	Wijaya dan Dinariana (2012), Tam et al (2007)
CX.2	Menggunakan teknologi beton pracetak mempermudah perencanaan kontruksi	Abduh, (2007) dalam Dewi, (2011); Tam et al (2007)
CX.3	Menggunakan teknologi beton pracetak tidak terpengaruh terhadap cuaca	Wijaya dan Dinariana (2012)
CX.4	Menggunakan teknologi beton pracetak hanya membutuhkan sedikit sumber daya manusia	Adiasa et al. (2015)

Kode	Faktor-faktor	Literatur
CX.5	Investasi awal yang besar tidak menghalangi kontraktor untuk menggunakan teknologi beton pracetak	Wijaya dan Dinariana (2012); Rani dan Fuadi (2016); Tam et al (2007); Nanyam et al (2017)
CX.6	Kebutuhan peralatan konstruksi tidak menghalangi kontraktor untuk menggunakan teknologi beton pracetak	Wijaya dan Dinariana (2012); Rani dan Fuadi (2016); Suyatna, (2017); Nanyam et al (2017)
CX.7	Analisa awal yang rumit tidak menjadi kendala kontraktor untuk menggunakan teknologi beton pracetak	Wijaya dan Dinariana (2012); Nanyam et al (2017)
CX.7	Keterbatasan area proyek tidak menjadi kendala kontraktor untuk menggunakan teknologi beton pracetak	Tam et al (2007); Nanyam et al (2017)
CX.8	Masalah sambungan beton pracetak dan konvensional tidak menjadi kendala kontraktor dalam menggunakan teknologi beton pracetak	Tam et al (2007); Nanyam et al (2017)
T	Triability	
T.1	Kontraktor dapat bereksperimen dengan teknologi beton pracetak dan memunculkan ide-ide baru dalam penggunaan beton pracetak kedepan	Modifikasi dari Roger (1995)
O	Observability	
O.1	Kontraktor dapat melihat dan mempelajari dengan mudah mengenai teknologi beton pracetak yang baru diketahui	Modifikasi dari Roger (1995)

TAM mendalilkan bahwa niat perilaku pengguna (BI) menggunakan teknologi ditentukan oleh dua keyakinan : perceived usefulness (PU) dan perceived ease of use (PEoU) didefinisikan sebagai “sejauh mana pengguna percaya bahwa menggunakan teknologi meningkatkan kinerja pekerjaannya Davis (2000) dalam Son (2015)”. Penelitian sebelumnya membuktikan bahwa PU memiliki efek langsung pada niat perilaku pengguna untuk menggunakan teknologi (Son, 2015). Dengan demikian hipotesis pertama dinyatakan bahwa:

H1. PU akan memiliki efek positif pada BI

PEOU didefinisikan sebagai “sejauh mana pengguna percaya bahwa menggunakan teknologi akan bebas dari usaha”. PEOU memiliki efek langsung pada PU dan kedua keyakinan memiliki efek langsung pada BI untuk menggunakan teknologi. Penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa PEOU memiliki efek langsung pada niat perilaku pengguna menggunakan teknologi (Son, 2015). Dengan demikian hipotesis kedua dinyatakan bahwa:

H2. PEOU akan memiliki efek positif pada BI.

H3. PEOU akan memiliki efek positif pada PU.

Relative Advantage (RA) / Keuntungan relatif adalah sejauh mana suatu inovasi dirasakan lebih baik daripada ide itu digantikan. Tingkat keuntungan relatif dapat diukur dalam istilah ekonomi, tetapi faktor prestise sosial, kenyamanan, dan kepuasan juga sering merupakan komponen penting. Tidak masalah apakah inovasi memiliki banyak keuntungan "obyektif". Apa yang penting adalah apakah seseorang menganggap inovasi itu menguntungkan. Semakin besar manfaat relatif yang dirasakan dari suatu inovasi, semakin cepat tingkat adopsi yang akan terjadi. Dengan demikian hipotesis keempat dinyatakan bahwa:

H4. RA akan memiliki efek positif pada PU.

Compatibility (CB) / Kompatibilitas adalah sejauh mana suatu inovasi dianggap konsisten dengan nilai-nilai yang ada, pengalaman masal lalu, dan kebutuhan pengadopsi potensial. Sebuah ide yang tidak kompatibel dengan nilai-nilai dan norma-norma umum sistem sosial tidak akan diadopsi secepat inovasi yang kompatibel. Adopsi inovasi yang tidak kompatibel sering membutuhkan penerapan sistem nilai baru sebelumnya. Dengan demikian hipotesis kelima dan keenam dinyatakan bahwa:

H5. CB akan memiliki efek positif pada PU.

H6. CB akan memiliki efek positif pada PEOU.

Complexity (CX) / Kompleksitas adalah sejauh mana inovasi dianggap sulit untuk dipahami dan digunakan. Beberapa inovasi mudah dipahami oleh sebagian besar anggota sistem sosial; yang lain lebih rumit dan akan diadopsi lebih lambat. Dengan demikian hipotesis ketujuh dinyatakan bahwa:

H7. CX akan memiliki efek positif pada PEOU.

Triability (T) / Kemungkinan dicoba adalah sejauh mana inovasi dapat bereksperimen dengan basis terbatas. Ide-ide baru yang bisa dicoba direncana pemasangan umumnya akan diadopsi lebih cepat daripada inovasi yang tidak dapat dibagi. Dengan demikian hipotesis kedelapan dinyatakan bahwa:

H8. T akan memiliki efek positif pada PEOU.

Observability (O)/ Kemungkinan diamati adalah sejauh mana inovasi dapat dilihat oleh orang lain. Semakin mudah bagi individu untuk melihat hasil dari sebuah inovasi, semakin besar kemungkinan mereka untuk mengadopsi. Dengan demikian hipotesis kedelapan dinyatakan bahwa:

H9. O akan memiliki efek positif pada PEOU.

3. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan temuan literatur yang berkaitan dengan model adopsi teknologi. Model TAM dapat digunakan sebagai acuan untuk menjelaskan niat perilaku kontraktor menerapkan teknologi beton pracetak. peneliti juga

menemukan lima faktor utama dan terdapat 28 sub faktor yang dapat dihubungkan dengan karakter teknologi beton pracetak.

Perlu dilakukan analisis apakah faktor-faktor *relative advantage*, *perceive compatibility*, *perceive complexity*, *perceive triability* dan *observability* dan 28 subfaktor didalamnya mempengaruhi niat perilaku kontraktor menerapkan teknologi beton pracetak. Selain itu untuk mencari faktor yang paling dominan yang mempengaruhi adopsi teknologi beton pracetak.

PUSTAKA

- Azis Mudzakir Adiasa, Dimas Kurniawan Prakosa, Jati Utomo Dwi Hatmoko dan Tanto Djoko Santoso. (2015) "Evaluasi Penggunaan Beton Precast di Proyek Konstruksi", Jurnal Karya Teknik Sipil / Volume 4, No. 1-2015: 126-134
- David Heesom Dan Lamine Mahdjoubi. 2004. Trends of 4D CAD applications for construction planning, *Construction Management and Economics*, UK, Taylor & Francis Ltd: 171-182
- Dedy Wijaya dan Dwi Dinariana. 2012. Efisiensi Harga Metode Pracetak pada Bangunan Bertingkat Rusunawa Prototipe di Wilayah Jakarta dan Papua. Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan PKM : Sains, Teknologi dan Kesehatan / Volume 3. No. 1 – 2012, ISSN 2089-3582 : 211-216
- EmiliaVan Egmond. (2012), "Innovation Technology and Knowledge Transfer for Sustainable Construction", *Construction Innovation and Process Improvement*, A. Akintoye, J. S. Goulding and G. Zawdie (editor), USA, (vol 1): 109-138
- Gerrad H. "Gus" Gaynor. (1996), *Handbook Of Technology Management*, New York.
- Hafnidar A. Rani dan Zahrul Fuadi. (2016) "Efisiensi Dan Efektivitas Pelaksanaan Struktur Kolom Antara Metode Precast Dengan Konvensional". Jurnal Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala / Volume 5, No 3-Mei 2016 : 269-278.
- Halimah Tunafiah (2017). "Keterkaitan Skkni Terhadap Pelatihan Sektor Jasa Konstruksi Khusus Bidang Teknologi Beton Pracetak Prategang". IKRAITH Teknologi / Volume. 1, No. 2 – November 2017. Hal. 38-43 (http://103.12.84.17/sipjaki/upload/Pemetaan_Teknologi_Konstruksi_Prioritas_Berbasis_Wilayah.pdf, diakses 12 Oktober 2017)
- <http://industri.bisnis.com/read/20160824/45/578140>, diakses tanggal 12 Oktober 2017.
- <http://www.presidentri.go.id/info-kementrian-lembaga/inovasi-teknologi-dukung-percepatan-pembangunan-infrastruktur-pupr.html>, diakses tanggal 27 Oktober 2017.
- <https://www.antaranews.com/berita/584301/kemen-pupr-penetrasi-beton-pracetak-30-persen-di-2019>, diakses 11 November 2017.
- <https://www.constructiondive.com/news/kpmg-report-construction-industry-slow-to-adopt-new-technology/426268>, diakses 11 November 2017).
- <https://www.isqft.com/start/blog-future-trends-construction-industry>, diakses tanggal 11 November 2017.
- Hyojoo Son, Sungwook Lee dan Changwan Kim. (2015) "What drives the adoption of building information modeling in design organizations? An empirical investigation of the antecedents affecting architects' behavioral intentions". *Automation in Construction*, Elsevier (49): 92 – 99
- Hyojoo Son, Yoora Park, Changwan Kim dan Jui-Sheng Chou. (2012) "Toward an understanding of construction professionals' acceptance of mobile computing devices in South Korea: An extension of the technology acceptance model". *Automation in Construction*, Elsevier (28): 82 – 90.
- Ibrahim Akman dan Alok Mishra. (2015) "Sector diversity in Green Information Technology practices: Technology Acceptance Model perspective". *Computers in Human Behavior*. Elsevier (49). Hal 477 – 486.
- Lara Jaillon dan C.S. Poon. 2008. Sustainable Construction Aspects of Using Prefabrication in Dense Urban Environment: a Hong Kong Case Study. *Construction Management and Economics*. Routledge Taylor and Francis Group. No. 26. ISSN 0144-6193: 953-966.
- Marlinda Dewi Puspita dan Cahyono Bintang Nurcahyo. (2017) "Analisis Risiko Rantai Pasok Dinding Beton Pracetak Pada Proyek Pembangunan Apartemen Puncak Dharmahusada Surabaya", Jurnal Teknik ITS / Volume 6, No. 2 – 2017, ISSN 2337 – 3539.
- McKinsey & Company. (2017), "Artificial Intelligence The Next Digital Frontier", Discussion Paper, McKinsey Global Institute, Juni 2017.
- Muhammad Abduh. 2007. Inovasi Teknologi dan Sistem Beton Pracetak di Indonesia : Sebuah Analisa Rantai Nilai. Konstruksi Tahan Gempa di Indonesia. Seminar dan Pameran HAKI.
- bavigant. 2016. Tren in Construction Technology – The Potential Impact on Project Management and Construction Claims. *Construction Forum. Building On Lesson Learned In Construction Dispute Avoidance And Resolution*.
- Ratih Sarwendah Komala Dewi. 2011. Konstruksi Pracetak Tahan Gempa pada Rumah Susun Sewa Sederhana Universitas Muhammadiyah Malang. Media Teknik Sipil / Volume 9. No. 1 – Februari 2011, 61-69.

- Rencana Strategis Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Peraturan menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 13.1/prt/m/2015, “Tentang Rencana strategis Kementerian pekerjaan umum dan perumahan rakyat Tahun 2015-2019”, 2015: 60-66.
- Rusli Z, Mochammad Afifuddin dan Hafnidar A. Rani. (2018). “Faktor-Faktor Pertimbangan Penerapan Teknologi Precast Terhadap Kinerja Pelaksanaan Proyek Konstruksi Gedung Di Kota Banda Aceh”, Jurnal Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala / Volume 1, No. 4 – Februari 2018, ISSN 2088 – 9321: 857 – 868.
- Samad M E Sepasgozar dan Leonhard E Bernold. (2012). “Factors Influencing the Decision of Technology Adoption in Construction”. ICSDEC, ASCE: 654 – 661.
- Samad M. E. Sepasgozar, Sara Shirowzhan dan Cynthia (Changxin) Wang. (2017) “A scanner technology acceptance model for construction projects”. *Procedia Engineering*, Elsevier (180), Hal. 1237 – 1246
- Seul-Ki Lee, Hyo-Kyung dan Jung-Ho Yu. (2012) “An Extension of the Technology Acceptance Model for BIM-based FM”. *Construction Research Congress*, ASCE: 602 – 6011.
- Siti Aisyah Nurjannah. 2011. Perkembangan Sistem Struktur Beton Pracetak Sebagai Alternatif pada Teknologi Konstruksi Indonesia yang Mendukung Efisiensi Energi Serta Ramah Lingkungan. *Prosiding Seminar AvoER / Vol. 3*.
- Suat Gunhan dan David Arditi. 2005. Factors Affecting International Construction”, *Journal of Construction Engineering And Management*, ASCE (131): 273-282
- Suresh Kumar Lachimpadi, Joy Jacqueline Pereira, Mohd Raihan Taha dan Mazlin Mokhtar. 2012. Construction waste minimisation comparing construction conventional and precast (Mixed System and IBS) methods in high-rise buildings: A Malaysia case study. *Resources, Conservation and Recycling. Elsevier*, 68. 96-103.
- The National Society of Professional Engineers. 2014. Construction Productivity in Decline. The Magazine for Professional Engineers. Construction Communities.
- Thijs Habets dan Peter Van Der Sijde. (2007) “ Adoption Of Innovative Production Technologies In The Road Construction Industry”. *International Journal of Innovation and Technology Management*, Volume. 4, No. 3: 283-303
- VPS Nihar Nanyam, Riddha Basu, Anil Sawhney, Harsh Vikram dan Gourav Lodha (2017), “Implementation of Precast Technology in India Opportunities and Challenges”. *Procidia Engineering* (196). Elsevier. June 2017: 144-151.
- VWY Tam, CM Tam dan SX Zeng, WCY Ng. (2007), “Towards adoption of prefabrication in construction”. *Building and environment*, 2007. Elsevier
- Wulfram I. Ervianto, (2007). “Studi Implementasi Teknologi Beton Pracetak Bagi Bangunan Gedung” National Conference on Prospected Technology, 2007 - academia.edu.
- Yunita Dwi Setyastuti, Sri Murni Dewi dan Agus Suharyanto. (2017) “Peningkatan Produktivitas Pada Proses Produksi Pracetak Dengan Penerapan Metode Lean Construction Untuk Eliminasi Waste”. *Rekayasa Sipil / Volume. 11, No. 3 – 2017. ISSN 1978 – 5658. Hal 186 – 193*.
- Yuslan Irianie. 2013. Penerapan Metode dan Teknologi Precast Kolom dan Balok Tricon 3 Jupiter pada Konstruksi Bangunan Gedung Bertingkat (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Gedung Rusunawa di Banjarmasin)”. *Info Teknik / Volume 14 No. 1 – Juli 2013, 35-48*.
- Zainul Khakim, M. Ruslin Anwar, M. Hamzah Hasyim. 2011. Studi Pemilihan Pengerjaan Beton Antara Pracetak Dan Konvensional Pada Pelaksanaan Konstruksi Gedung Dengan Metode AHP, *Jurnal Rekayasa Sipil / Volume 5, No. 2 – 2011 ISSN 1978 – 5658*
- Zhigang Jin, Fei Deng, Hengli dan Martin Skitmore. (2013) “Practical Framework for Measuring Performance of International Construction Firm”, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE (139), September 2013, 1154-1167.

PENGARUH SERBUK BATU KAPUR SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN BETON

Nelwan Rante Tondok¹, Jonie Tanijaya², dan Hendry Tanoto Kalangi³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Makassar
Jl. Tanjung Alang No. 23, Makassar
E-mail: nelwan.xena@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar
E-mail: jonie.tanijaya@gmail.com

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Makassar
E-mail: h_kalangi@yahoo.com

ABSTRAK

Semen sebagai kebutuhan mutlak konstruksi beton telah mendorong banyak penelitian untuk memodifikasi semen agar dapat meningkatkan kualitas beton dengan mencari bahan tambahan alternatif ataupun pengganti sebagian semen sebagai campuran dalam beton. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis seberapa optimal kekuatan yang dihasilkan dari pengganti sebagian semen dengan serbuk batu kapur asal Toraja Utara pada kadar 5%, 10% dan 15% dari berat semen yang digunakan. Mutu beton yang direncanakan pada penelitian ini yaitu 18,7 MPa dan menggunakan sampel berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Metode yang digunakan adalah American Concrete Institute (ACI). Dari pengujian yang telah dilakukan, penggunaan serbuk batu kapur asal Toraja Utara sebagai pengganti sebagian semen cenderung menurunkan kuat tekan beton dari mutu yang direncanakan yaitu 18,7 MPa. Pada kadar 5% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 6,75%, pada kadar 10% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 8,60% dan pada kadar 15% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 10,74%.

Kata kunci : serbuk batu kapur, semen, beton, kuat tekan

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penggunaan beton dalam bidang konstruksi saat ini semakin meningkat dan mengakibatkan kebutuhan akan beton dengan kualitas yang baik semakin meningkat. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk meningkatkan kualitas beton dengan cara mencari bahan tambahan alternatif ataupun pengganti sebagian semen sebagai campuran dalam beton. Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen adalah serbuk batu kapur. Penelitian penggunaan batu kapur sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam campuran beton telah terbukti meningkatkan kuat tekan beton (Putro, G.B. & Nurchasanah, Y, 2011).

Di Indonesia khususnya daerah Kelurahan Lembang Parinding, Kecamatan Sesean, Kabupaten Toraja Utara, Provinsi Sulawesi Selatan merupakan daerah dengan potensi bahan galian berupa batu kapur. Hal ini dapat dilihat dari beberapa wilayahnya yang merupakan gunung batu kapur dan beberapa tambang batu kapur. Akan tetapi, tambang batu kapur di daerah tersebut sudah tidak beroperasi dan meninggalkan pecahan batu kapur hasil tambang begitu saja.

Dari hasil kajian pustaka, diketahui bahwa serbuk batu kapur mengandung kalsium oksida, silika, aluminium, magnesium dan besi yang serupa dengan kandungan senyawa dalam semen.

Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh serbuk batu kapur dari Toraja Utara sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari.

1.2. Tinjauan Pustaka

Beton adalah suatu komposit dari beberapa bahan batu-batuan yang direkatkan oleh bahan ikat. Beton dibentuk dari agregat campuran (halus dan kasar) dan ditambah dengan pasta semen. Menurut Mulyono (2005:3), Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture* atau *additive*). Beton pada dasarnya adalah campuran dari 2 bagian : agregat dan mortar. Mortar terdiri dari semen portland dan air, yang mengikat agregat (pasir dan kerikil atau batu pecah) menjadi suatu massa seperti batuan, ketika pasta tersebut mengeras akibat reaksi kimia dari semen dan air. Jadi dapat dikatakan bahwa beton dibuat dari agregat (pasir dan kerikil), semen (perekat yang mengikat butir-butir agregat menjadi satu) dan air (yang bereaksi dengan semen). Campuran ini diharapkan nantinya cukup kuat (kokoh tekan, kokoh tarik, kekerasan), tahan lama (ketahanan atau *durability*, susut, rangkai), mudah dibuat (*workability*, *setting time*), dari pemilihan yang teliti dan ekonomis dari sifat-sifat dan proporsi bahan-bahan (*mix design*). (Nugraha, 2007:25). Parameter-parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton adalah kualitas semen, proporsi semen terhadap campuran, kekuatan dan kebersihan agregat, interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat, pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton, pencampuran yang benar,

penyelesaian dan pemadatan beton, dan kandungan klorida tidak melebihi 0,15% dalam beton yang diekspos dan 1% bagi beton yang tidak diekspos. (Nawy, 1985:24).

Putro, G.B. & Nurchasanah, Y (2011), penelitian yang dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penambahan serbuk batu gamping sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan beton dan untuk mengetahui pengaruh variasi faktor air semen (fas) terhadap kuat tekan beton.

Persentase penggunaan serbuk batu gamping yang digunakan adalah 0%, 5% 10% dan 15% dari berat semen dengan fas 0,4 dan fas 0,5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan serbuk batu gamping sebagai bahan tambah untuk pengganti sebagian semen sampai kadar 15% terjadi kecenderungan untuk meningkatkan kuat tekan beton. Untuk fas 0,4 terjadi penambahan kuat tekan beton sebesar 0,95% dan untuk fas 0,5 terjadi penambahan kuat tekan beton sebesar 1,71%. Grafik hasil pengujian kuat tekan beton yang dilakukan oleh Ginanjar Bagyo Putro dan Yenny Nurchasanah ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan kuat tekan beton dengan persentase serbuk batu gamping pada umur 28 hari dengan fas 0,4 dan 0,5

Menurut Hartono (2013), pada penelitian yang dilakukan yang bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton dengan agregat kasar dari batu kapur, sifat dari batu kapur adalah sebagai berikut:

- : Putih, putih kecoklatan, dan putih keabuan
- Warna : keabuan
- Kilap : Kaca, dan tanah
- Goresan : Putih sampai putih keabuan
- Bidang belahan : Tidak teratur
- Pecahan : *Uneven*
- Kekerasan : 2,7 – 3,4 skala mohs
- Berat jenis : 2,387 ton/m³
- Tenacity* : Keras, kompak, sebagian berongga

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik batu gamping sebagai agregat kasar dan agregat halus yang dilakukan Jabair (2018) diperoleh sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi dan hasil uji karakteristik agregat halus (pasir batu gamping)

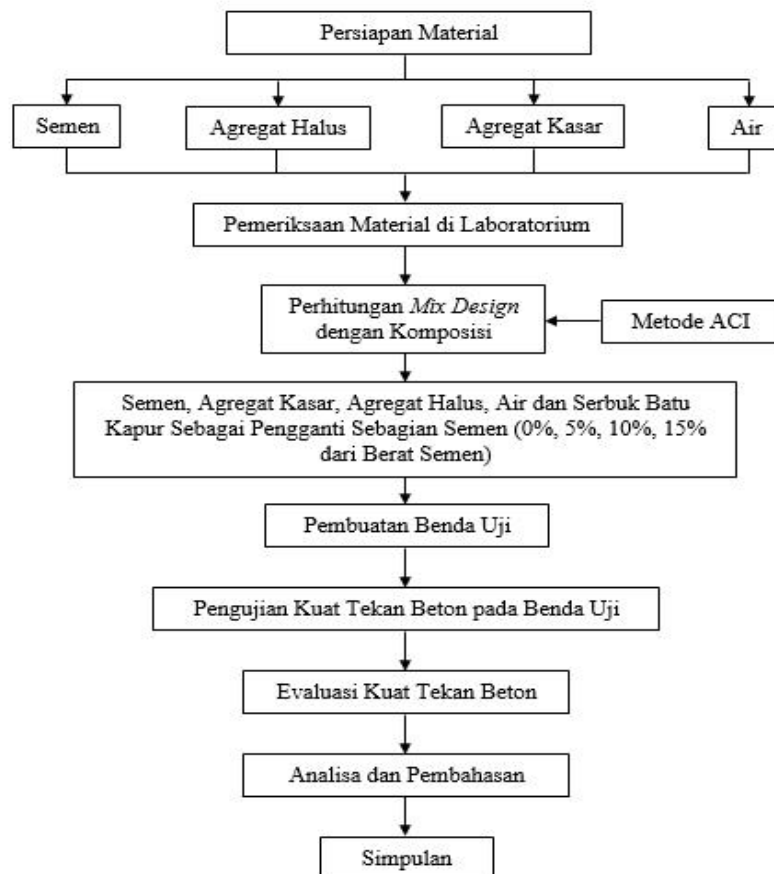
No.	Karakteristik Pasir	Interval Batas	Hasil Uji	Keterangan
1	Kadar Lumpur	0,2% - 6,0%	4,62%	Memenuhi
2	Kadar Organik	<No.3	<2	Memenuhi
3	Kadar Air	3% - 5%	0,349%	Sangat Rendah
4	Berat Volume	1,4kg/ltr - 1,9kg/ltr	1,77kg/ltr	Memenuhi
5	Resapan	0,2% - 2,0%	0,674	Memenuhi
6	Berat Jenis SSD	1,6 - 3,2	2,606	Memenuhi
7	Modulus Kehalusan	2,2 - 3,1		

Tabel 2. Spesifikasi dan hasil uji karakteristik agregat kasar (batu pecah, batu gamping)

No.	Karakteristik Pasir	Interval Batas	Hasil Uji	Keterangan
1	Kadar Lumpur	0,2% - 1,0%	2,19%	Agak Tinggi
2	Keausan	15% - 50%		
3	Kadar Air	0,5% - 2,0%	0,349%	Sangat Rendah
4	Berat Volume	1,4kg/ltr - 1,9kg/ltr	1,77kg/ltr	Memenuhi
5	Resapan	0,2% - 4,0%	0,674	Memenuhi
6	Berat Jenis SSD	1,6 - 3,2	2,606	Memenuhi
7	Modulus Kehalusan	5,5 - 8,5		

1.3. Metodologi Penelitian

Urutan pelaksanaan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2 berikut



Gambar 2. Skema Penelitian

Pengujian karakteristik agregat di laboratorium terbagi atas pengujian karakteristik agregat halus dan agregat kasar mengikuti standar ASTM. Perhitungan *mix design* pada penelitian ini menggunakan metode *American Concrete Institute (ACI)*. Mutu beton yang direncanakan adalah K-225 ($f_c' = 18,7$ MPa) pada umur 28 hari dengan kadar serbuk batu kapur sebagai pengganti sebagian semen yaitu 0%, 5%, 10% dan 15% dari total berat semen. Benda uji yang dibuat berupa silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Prosedur pengujian kuat tekan beton mengacu pada standar SNI 03-1974-1990 dan dilakukan pada benda uji beton dengan umur beton mencapai 7, 14, 21 dan 28 hari.

2. PEMBAHASAN

Hasil pengujian karakteristik agregat dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Rekapitulasi hasil pengujian karakteristik agregat halus

N0.	Karakteristik Agregat	Interval	Hasil Uji	Keterangan
1	Analisa Saringan	-	Gradasi 3	Memenuhi
2	Modulus Kehalusan	2,2 - 3,1	2,68	Memenuhi
3	Berat Jenis Spesifik:	-	-	-
	a. B.J. Nyata	1,6 - 3,2	2,72	Memenuhi
	b. BJ Dasar Kering	1,6 - 3,2	2,58	Memenuhi
	c. B.J. Kering Permukaan	1,6 - 3,2	2,63	Memenuhi
4	Penyerapan Air (%)	0,2 - 2	2,04	Tidak Memenuhi
5	Berat Volume:	-	-	-
	a. Kondisi Lepas ($\frac{kg}{liter}$)	1,4 - 1,9	1,44	Memenuhi
	b. Kondisi Padat ($\frac{kg}{liter}$)	1,4 - 1,9	1,67	Memenuhi
6	Kadar Air (%)	3 - 5	3	Memenuhi
7	Kadar Lumpur (%)	0,2 - 6	5,7	Memenuhi
8	Kadar Organik	< No. 3	No.2	Memenuhi

Tabel 4. Rekapitulasi hasil pengujian karakteristik agregat kasar

No.	Karakteristik Agregat	Interval	Hasil Uji	Keterangan
1	Analisa Saringan	-	Gradasi 6	Memenuhi
2	Modulus Kehalusan	6 - 7,1	6,74	Memenuhi
3	Berat Jenis Spesifik:	-	-	-
	a. B.J. Nyata	1,8 - 3,2	2,72	Memenuhi
	b. B.J. Dasar Kering	1,8 - 3,2	2,55	Memenuhi
	c. B.J. Kering Permukaan	1,8 - 3,2	2,61	Memenuhi
4	Penyerapan Air (%)	0,2 - 4	2,46	Memenuhi
5	Berat Volume:	-	-	-
	a. Kondisi Lepas ($\frac{kg}{liter}$)	1,6 1,9	1,40	Tidak Memenuhi
	b. Kondisi Padat ($\frac{kg}{liter}$)	1,6 1,9	1,57	Tidak Memenuhi
6	Kadar Air (%)	0,5 - 2	1	Memenuhi
7	Kadar Lumpur (%)	0,2 - 1	1	Memenuhi

Tabel 5. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton

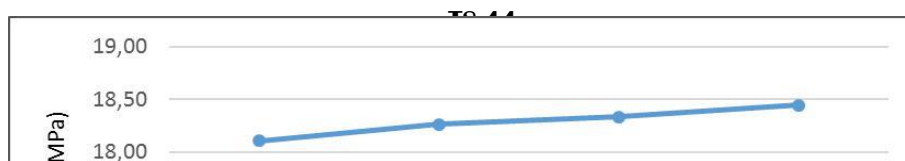
Umur Beton (hari)	Kuat Tekan Beton dengan Kadar Serbuk Batu Kapur dari Total Berat Semen (MPa)			
	0%	5%	10%	15%
7	18,1088	16,3675	16,2805	16,1934
14	18,2631	16,6911	16,4625	16,2053
21	18,3328	16,8591	16,5054	16,2106
28	18,4483	17,2033	16,8638	16,4677

Hasil pengujian karakteristik agregat halus menunjukkan bahwa daya absorpsi agregat halus tidak memenuhi syarat spesifikasi, sehingga pada perhitungan *mix design* perlu dilakukan koreksi jumlah air campuran beton.

Hasil pengujian karakteristik agregat kasar menunjukkan bahwa berat volume pada kondisi lepas dan kondisi padat tidak memenuhi syarat spesifikasi, sedangkan pengujian lain telah memenuhi syarat spesifikasi.

Hasil pengujian kuat tekan beton pada Tabel 5 menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai kuat tekan beton seiring dengan bertambahnya kadar serbuk batu kapur sebagai pengganti sebagian semen. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan kadar serbuk batu kapur asal Toraja Utara sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton memberikan pengaruh negatif terhadap kuat tekan beton.

Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton Tabel 6 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 2 dan Gambar 3.



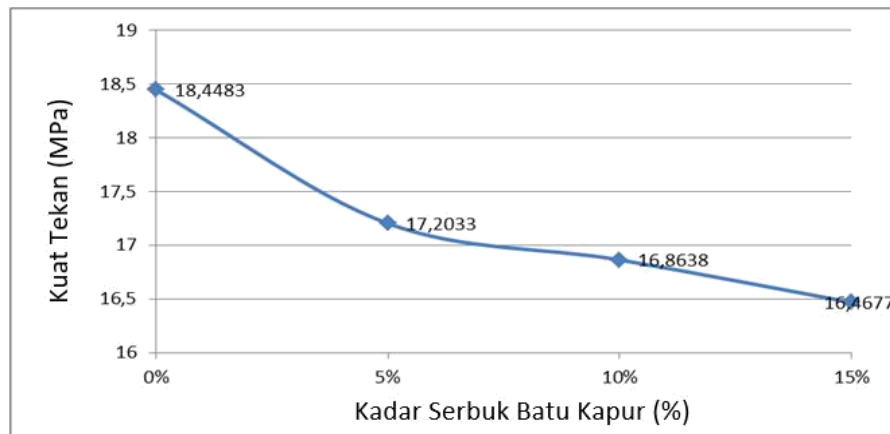
Gambar 3. Grafik kurva hubungan kuat tekan beton dengan umur berdasarkan kadar serbuk batu kapur

Pengujian analisis kandungan kimia serbuk batu kapur yang digunakan dilakukan oleh PT. SUCOFINDO (Persero). Berat sampel serbuk batu kapur yang dianalisa kurang lebih satu kilogram dengan menggunakan metode *X-Ray Flourescence* (XRF). Hasil analisis kandungan kimia serbuk batu kapur seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil analisis kandungan kimia serbuk batu kapur

Parameter	Hasil Uji		Metode
	Persentase	Berat	
SiO ₂	2,49 %	0,0249 kg	<i>X-Ray Flourescence</i> (XRF)
Al ₂ O ₃	1,50 %	0,015 kg	
Fe ₂ O ₃	0,90 %	0,009 kg	
CaO	49,30 %	0,493 kg	
MgO	2,78 %	0,0278 kg	
SO ₃	0,25 %	0,0025 kg	

Berdasarkan hasil uji kandungan batu kapur asal Toraja Utara (Tabel 5) dan membandingkannya dengan hasil uji kuat tekan beton yang telah dilakukan, dapat dilihat terjadi kecenderungan mengalami penurunan kuat tekan beton seiring bertambahnya persentase kadar serbuk batu kapur sebagai pengganti sebagian semen. Meskipun kandungan CaO yang bersifat keras cukup tinggi yaitu 49,3%, tetapi kandungan SiO₂ yang berfungsi sebagai perekat dalam campuran beton hanya 2,49%.



Gambar 3. Grafik kurva hubungan kuat tekan beton rata-rata umur 28 hari dengan kadar serbuk batu kapur

Dari Gambar 3 terlihat bahwa dengan penambahan serbuk batu kapur sebagai pengganti sebagian semen dengan kadar 5%, 10% dan 15% dari total berat semen menurunkan nilai kuat tekan beton. Untuk kadar 5%, nilai kuat tekan beton turun dari 18,4483 MPa menjadi 17,2033 MPa (6,75%). Untuk kadar 10%, nilai kuat tekan beton turun dari 18,4483 MPa menjadi 16,8638 MPa (8,60%). Dan untuk kadar 15%, nilai kuat tekan beton turun dari 18,4483 MPa menjadi 16,4677 MPa (10,74%).

3. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat diambil simpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan serbuk batu kapur asal Toraja Utara sebagai pengganti sebagian semen cenderung menurunkan nilai kuat tekan beton dari kondisi tanpa serbuk batu kapur, pada kadar 5% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 6,75%, pada kadar 10% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 8,60% dan pada kadar 15% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 10,74%. Semakin besar persentase kadar serbuk batu kapur yang digunakan, semakin besar reduksi atau penurunan kuat tekan beton.
2. Penggunaan serbuk batu kapur asal Toraja Utara tidak dapat menjadi pengganti sebagian semen di dalam campuran beton karena kuat tekan yang diperoleh lebih rendah dibandingkan dengan beton tanpa serbuk batu kapur dan kemampuan mengikat material serbuk batu kapur asal Toraja Utara tidak sekuat semen.

Setelah melakukan penelitian di laboratorium dan menganalisa data, penulis memberikan beberapa saran antara lain:

1. Proses pemadatan benda uji harus diperhatikan dengan baik karena akan mempengaruhi nilai kuat tekan yang dihasilkan.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh CaO dalam serbuk batu kapur.
3. Diperlukan penelitian lebih lanjut tentang penggunaan serbuk batu kapur asal Toraja Utara sebagai pengganti sebagian semen dengan variasi faktor air semen.
4. Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan serbuk batu kapur asal Toraja Utara sebagai *filler* dalam campuran beton karena mengandung CaO yang tinggi.

PUSTAKA

- ACI 318. *Building Code Requirements for Reinforced Concrete*. 1995.
ACI Committee 211. 2002. *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91)*.
ASTM C29. *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*.
ASTM C33. *Standard Specification for Concrete Aggregates*.
ASTM C40. *Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete*.

- ASTM C117. *Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing.*
- ASTM C125. *Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates.*
- ASTM C127. *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.*
- ASTM C128. *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate.*
- ASTM C136. *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.*
- ASTM C150. *Standard Specification for Portland Cement.*
- ASTM C556. *Standard Test Method for Resistance of Overglaze Decorations to Attack by Detergents.*
- ASTM E11. *Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves.*
- Hartono. 2013. *Studi Kuat Tekan Beton Dengan Agregat Kasar Dari Batu Kapur.* Tugas Akhir tidak diterbitkan. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Inggarsono, E. & Pakiding, Y. 2016. *Pengaruh Serbuk Arang Tempurung Kelapa Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Perubahan Kuat Tekan Beton.* Skripsi tidak diterbitkan. Makassar: Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Makassar.
- Jabair. 2018. *Penggunaan Batu Gamping Sebagai Agregat Pada Beton Kekuatan Tinggi Ditinjau Dari Sifat Mekanisnya.* Tesis tidak diterbitkan. Makassar: Program Pascasarjana UKI Paulus.
- Jau, Lo Kok & Yuspitasi, E. 2014. *Pengaruh Substitusi Serbuk Besi pada Agregat Halus terhadap Kuat Tekan Beton.* Skripsi tidak diterbitkan. Makassar: Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Makassar.
- Lembang, Sergi. 2017. *Pengaruh Kombinasi Agregat Kasar Antara Batu Pecah Dan Kerikil Terhadap Kuat Tekan Beton Untuk Perkerasan Kaku.* Skripsi tidak diterbitkan. Makassar: Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Makassar.
- Mulyono, Tri. 2005. *Teknologi Beton*, Andi, Yogyakarta.
- Murdock, L.J. dan Brook, K.M. 1978. *Bahan dan Praktek Beton* Edisi Kelima. Terjemahan oleh Stephanus, H. 1986. Jakarta : Erlangga.
- Nawy, Edward G. 1985. *Reinforce Concrete a Fundamental Approach*. Sidney. Mac Graw-Hill Book Company.
- Nugraha, P. dan Antoni. 2007. *Teknologi Beton*. Andi, Yogyakarta.
- Pietoyo, H. & Uneputty, N.T. 2010. *Studi Karakteristik Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton.* Skripsi tidak diterbitkan. Makassar: Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Makassar.
- Putro, G.B. & Nurchasanah, Y. 2011. *Tinjauan Kuat Tekan Beton Dengan Serbuk Batu Gamping Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Beton.* Skripsi tidak diterbitkan. Surakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammdiyah.
- SK.SNI T-15-1990-03. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- SK.SNI T-15-1991-03. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- SNI 03-1974-1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-03-2847-2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- SNI 03-6827-1990. *Metode Pengujian Waktu Ikat Awal Semen Portland Dengan Menggunakan Alat Vicat Untuk Pekerjaan Sipil*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

PERILAKU GESER TANAH YANG DISTABILISASI DENGAN KAPUR - ABU SEKAM PADI DAN TULANGAN SERAT POLYESTER

Hendra Suryadharma¹, John Tri Hatmoko²

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jalan Babarsari No. 44 Yogyakarta
Telp. (0274) 87711
E-mail: surya@mail.uajy.ac.id; john@mail.uajy.ac.id,

ABSTRAK

Serangkaian pengujian laboratorium dilakukan pada pengaruh individual dan kombinasi dari inklusi serat polyester kedalam tanah yang distabilisasi dengan abu sekam padi (RHA) dan kapur. Sifat-sifat geoteknik dari abu sekam padi + tanah, dan abu sekam padi + tanah + 0,8 sampai dengan 1,2% serat polyester dengan waktu pemeraman yang berbeda diteliti melalui pengujian kuat tekan bebas, geser langsung dan triaksial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat kedalam tanah tidak secara konsisten meningkatkan parameter geser tanah. Peningkatan kuat tekan bebas pada tanah + RHA tanpa kapur sebagai akibat dari tulangan serat tergantung pada kuat tekan pada sampel tanpa tulangan. Penambahan serat meningkatkan kuat tekan pada tanah yang tidak distabilisasi. Kuat tekan bebas pada tanah + RHA meningkat akibat penambahan kapur dan serat. Hal ini tergantung pada campuran dan masa pemeraman. Peningkatan kuat tekan bebas yang disebabkan oleh gabungan kapur dan serat relatif besar.

Kata kunci : abu sekam padi, tanah, polyester, kapur

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Teknologi perbaikan tanah untuk meningkatkan stabilitas tanah sudah banyak dilakukan dan menunjukkan keberhasilannya. Bahan-bahan tambah yang sering digunakan sampai saat ini adalah kapur dan semen. Semen sudah banyak diterapkan dengan keberhasilan yang cukup antara lain : peningkatan kuat geser pondasi jalan, perlindungan terhadap lereng, lapisan dasar podasi maupun untuk meningkatkan tahanan terhadap bahaya liquefaction (Puppala 1998, Hatmoko 2004; Hatmoko 2005). Penerapan stabilisasi tanah dengan kapur semen, abu ampas tebu, abu terbang, abu sekam padi, kombinasi abu terbang + semen, abu ampas tebu + kapur sudah banyak dilakukan. (Hatmoko, 2004, 2005, 2013, Diane 2001; Diana, W dkk. 2012, 2013; Tahllib 2011, Yadu, 2011) . Penelitian mengenai pengaruh tulangan serat secara individu sudah banyak diteliti (Damayanti D, 2004; Sulisty, B., 2013, Maher, M.H, 1994) . Namun demikian, jarang sekali para peneliti yang mengamati pengaruh inklusi tulangan pada tanah yang sudah dicampur dengan kapur dan abu sekam padi pada kuat geser dan kuat tekannya. Permasalahan yang timbul kemudian adalah : bagaimana perilaku tanah yang distabilisasi dengan kapur dan abu sekam padi; apakah serat polyester mampu meningkatkan kuat geser tanah yang distabilisasi dengan kapur dan abu sekam padi, dan bagaimana perilaku geser tanah yang distabilisasi dengan kapur dan abu sekam padi dengan inklusi serat polyester. Oleh sebab itu, penelitian ini mengkaji seberapa besar pengaruh inklusi tulangan serat dengan orientasi acak pada tanah yang sudah distabilisasi dengan campuran kapur dan abu sekam padi. Serat yang digunakan pada penelitian ini adalah serat polyester. Tujuan penelitian ini adalah : mencari dan mendeteksi perilaku geser dengan berbagai model tegangan, untuk tanah yang distabilisasi dengan kapur dan abu sekam padi; mempelajari apakah serat polyester dapat meningkatkan kuat geser tanah yang distabilisasi dengan kapur dan abu sekam padi, dan mempelajari perilaku geser dari tanah yang distabilisasi dengan kapur – abu ampas tebu dan inklusi tulangan serat polyester di berbagai model tegangan (tekan bebas, geser langsung dan triaksial).

1.2. Studi Pustaka

Penggunaan campuran limbah kapur karbit dan abu sekam padi sebagai pengganti semen pada mortar, rasio CCR:RHA menghasilkan kuat tekan tertinggi adalah 50% CCR:50RHA yaitu sebesar 15,6 Mpa dengan waktu perawatan 28 hari, dan 19,1 Mpa dengan waktu perawatan 180 hari (Jaturapitakkul & Roongreung 2003). Berdasarkan hasil penelitian tersebut, material sementasi CCR dan RHA sangat potensial digunakan untuk pembuatan beton yang tidak memerlukan kuat tekan tinggi. Struktur mikro dari CCR dan *Ground Fly Ash* (GFA) dengan menggunakan teknik *scanning electron microscopy* (SEM), *X-Ray diffractometry* (XRD) dan Fourier transform infrared (FTIR) sudah diteliti (Somna, et al. 2011) . Hasil SEM dan XRD dari pasta CCR-GFA dihasilkan *calcium silikat hidrat* (CSH) dalam bentuk $\text{Ca}_5(\text{SiO}_4)_2(\text{OH})_2$. Komponen baru ini juga ditemukan dengan analisis FTIR. CSH yang dihasilkan diperoleh dari reaksi SiO_2 dari GFA dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dari CCR. Reaksi kimianya serupa dengan reaksi *pozzolanik*. Adanya unsur CSH meningkatkan kekuatan tekan pasta. Kekuatan tekan semua sampel meningkat dengan bertambahnya waktu perawatan dan hamper konstan pada umur 42 hari.

Makararat, et al.(2010), menggunakan limbah kapur karbit (CCR) dan *Fly Ash* (FA) sebagai bahan ikat pada beton dan meneliti pengaruhnya terhadap sifat mekanik beton. Rasio berat CCR:original fly ash (OF) atau ground fly ash (GF) yang digunakan sebagai bahan ikat pengganti semen adalah 30:70. Hasil penelitian menunjukkan, tanpa menggunakan semen, bahan ikat baru (campuran CCR dan OF atau GF) menghasilkan kuat tekan 28,4 dan 33,5 Mpa pada umur 28 dan 90 hari. Beton dengan menggunakan bahan ikat CCR-OF atau CCR-GF memiliki waktu ikat awal (initial setting time) dan final setting time yang lebih lama dibandingkan dengan beton normal. Campuran limbah kalsium karbit (CCR) dan fly ash dapat digunakan sebagai bahan ikat baru untuk beton, mengurangi penggunaan produk semen portland dan mengurangi limbah kapur karbit.

Penelitian tentang kemungkinan penggunaan campuran CCR dan FA untuk memperbaiki kekuatan dari tanah lempung berlanau sudah diteliti oleh (Horpibulsuk et al. 2012). Pengujian struktur mikro mineral menggunakan pengujian SEM dan pengujian kekuatan menggunakan uji tekan bebas. Hasil pengujian menunjukkan penambahan CCR menurunkan berat jenis, plastisitas, berat volume kering maksimum dan kadar air optimum pada pengujian pemadatan. Untuk berbagai rasio CCR:FA, kekuatan maksimum diperoleh pada saat kadar air optimum. Perubahan kekuatan dibedakan menjadi tiga zona, yaitu zona aktif, inert dan deterioration. Pada zona aktif, kekuatan meningkat dengan meningkatnya kandungan CCR untuk semua rasio CCR:FA. Penambahan FA (sebagai pengganti CCR) tidak meningkatkan kekuatan secara signifikan sebab penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ digunakan oleh material pozolan alami tanah untuk membentuk reaksi pozolanik. Zona aktif dapat ditentukan dengan metode CCR fixation point yang dapat diperoleh dengan pengujian indeks sederhana (pengujian indeks plastisitas). Pada penelitian ini digunakan kadar CCR 7%. FA sebagai pengganti CCR efektif pada kandungan CCR lebih besar dari kandungan CCR zona aktif, ketika material pozolan alami tidak mencukupi untuk bereaksi dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Kampala & Harpibulsuk (2013) meneliti sifat teknik dari lempung berlanau yang distabilisasi dengan limbah kapur karbit (CCR). Kadar CCR yang diperlukan untuk stabilisasi ditentukan dengan CCR fixation point. CCR fixation point menunjukkan kapasitas lempung untuk menyerap ion Ca^{2+} dan bereaksi dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Kadar air optimum digunakan untuk membuat campuran lempung berlanau dan CCR. Kadar air yang lebih kecil dari kadar air optimum tidak mencukupi untuk terjadinya reaksi pozolanik. Tanah yang distabilisasi dengan CCR memiliki kekuatan yang lebih besar dibandingkan dengan yang distabilisasi dengan kapur. Hal ini disebabkan karena CCR mengandung material pozolanik (SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3) sekitar 12,3%. Penggunaan CCR sebagai bahan tambah stabilisasi juga lebih baik ditinjau dari segi teknik, ekonomi, dan lingkungan.

Hatmoko (2003), menggunakan bahan abu ampas tebu untuk stabilisator tanah lempung ekspansif. Hasil pengujian komposisi abu ampas tebu menunjukkan prosentase unsur-unsur sebagai berikut: SiO_2 (48%), Al_2O_3 (19%), Fe_2O_3 (10%), CaO (4,5%), MgO (2,05%), Na_2O (1,3%), K_2O (0,2%), dan HP (18,9%). Pada penelitian tersebut, sebelum lempung dicampur dengan abu ampas tebu ditambahkan terlebih dahulu tanah pasir sebesar 7,5% berat kering, baru kemudian dicampur dengan abu ampas tebu dengan prosentase : 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 dan 15%. Pengujian laboratorium yang dilakukan adalah pengujian batas-batas konsistensi, potensi pengembangan, pengujian CBR dan pengujian tekan bebas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan abu ampas tebu menurunkan indeks plastisitas dan potensi pengembangan pada kadar abu ampas tebu 12,5%. Sedangkan nilai kepadatan kering tertinggi dicapai pada kadar abu ampas tebu yang sama (12,5%).

Nagaraj & Miura (2002) menunjukkan bahwa karakteristik tegangan-regangan sangat tergantung pada derajat sementasi. Hal senada juga dilaporkan oleh (Horpibulsuk & Miura .2001). Hanya saja yang terakhir menambahkan faktor air semen di dalam menganalisis tegangan-regangannya. Hsieh, S., et.al. 2003. mempraktekan jet-grouting untuk mengurangi gerakan horisontal dinding diapragma pada penggalian basement setinggi 6 tingkat. Berdasarkan pengalaman di lapangan, bangunan yang berdekatan dengan galian basement mengalami setelmen yang masih pada interval toleransi, namun displasemen cukup besar sehingga pada lokasi-lokasi tertentu di terapkan jet-grouting untuk meningkatkan tekanan efektif sehingga pergerakan tanah dapat dikurangi.

Diana, dkk. (2012). menyajikan hasil penelitian penggunaan abu sekam padi + limbah karbit untuk meningkatkan kuat tekan bebas tanah lempung. Limbah karbit yang digunakan sebesar 8% dari berat kering tanah. Perbandingan limbah karbit dengan abu sekam padi adalah : 30:70; 50:50, dan 70:30%. Pada perbandingan 50 : 50 menghasilkan kenaikan kuat tekan bebas 2 kali lipat dari tanah yang tidak distabilisasi. Penelitian serupa dilakukan oleh ybs. (Diana. 2013) namun besaran yang diukur adalah kuat tarik belah. Komposisi campuran limbah karbit : abu sekam padi 50 : 50, menghasilkan kuat tarik 84% lebih tinggi dari pada tanah yang tidak distabilisasi.

1.3. Metode Penelitian

1.3.1 Bahan

Abu sekam padi / *rice husk ash (RHA)* diambil dari daerah pertanian Kabupaten Wonogiri , propinsi Jawa Tengah(Gambar 1). Sedangkan tanah terdiri atas 2 jenis tanah yaitu pasir dan lempung. Pasir diambil dari Sungai Krasak, Kabupaten Magelang,propinsi Jawa Tengah; lempung diambil dari Kabupaten Wonogiri bagian barat. Kapur padam Ca(OH)_2 diambil dari tempat pembakaran kapur di Kecamatan Manyaran, Kabupaten Wonogiri, propinsi Jawa Tengah.



Gambar 1. Pembakaran Abu Sekam Padi

1.3.2 Standard Pengujian

Standard pengujian menggunakan ASTM, AASHTO maupun SNI. Pengujian Indeks properties (AASHTO T89-68 dan T90-70 ; ASTM D423-66; D424-59; AASHTO T92-68, dan ASRM D427-61.). Analisis saringan (AASHTO T87-70 ; AASHTO T88-70 ;ASTM D421-58 dan D422-63. AASHTO T87-70, T88-70, dan ASTM D421-59, dan D422-63). Penguja pepadatan (SNI 1742 : 2008, AASHTO T 99 – 01). Pengujian tekan bebas (: ASTM D 2166 ; SNI 03-3638-1994; AASHTO T 208 – 70). Pengujian geser (SNI 2813 : 2008, atau ASTM D 3080-90), dan SNI 03 – 2815-1992 atau ASTM D 2664 – 86/ ASTM D 2850 – 87). Gambar 2.menunjukkan sampel tanah yang siap diuji, dan Tabel 1.adalah pemberian symbol pada campuran tanah yang diuji.



Gambar 2. Sampel tanah siap diuji

Tabel 1.Pengujian Sampel : RHA + Tanah

No.	Campuran			Simbol
	% RHA (A)	% Lempung(L)	% Pasir(P)	
1	0	100		L ₁₀₀
2	25	75		A ₂₅ L ₇₅
3	50	50		A ₅₀ L ₅₀
4	75	25		A ₇₅ L ₂₅
5	100	0		A ₁₀₀
6	0		100	P ₁₀₀
7	25		75	A ₂₅ P ₇₅
8	50		50	A ₅₀ P ₅₀
9	75		25	A ₇₅ P ₂₅

Pengujian Sampel : Tanah + RHA + 1,2% Serat

Kandungan serat polyester dibuat tetap sebesar 1,2% berat kering tanah. Angka tersebut diambil dari studi terdahulu (Sulistyo, 2013) yang pada kadar serat tersebut parameter geser tanah naik dengan angka yang cukup signifikan. Pada dasarnya pengujian yang dilakukan pada tanah + RHA + Serat sama dengan tanah + RHA.

Pengujian : Tanah + RHA + Kapur

Pengaruh kapur sendiri pada campuran tanah + RHA akan dilakukan hanya dengan pengujian tekan bebas pada tanah + RHA dengan kandungan kapur : 0, 4%, dan 8% dan diperam dalam jangka waktu : 0, 14, 28, dan 56 hari. Masing-masing variasi diperlukan minimum 3 buah sampel. Terminologi yang digunakan pada campuran: Tanah + RHA + Kapur adalah sebagai berikut. Misal campuran : RHA 25% + Lempung 75% + kapur 4 % diberi simbol : A₂₅P₇₅K₄. Contoh lain : RHA 50% + Pasir 50% + Kapur 8% diberi simbol : A₅₀P₅₀K₈ dan seterusnya. Dengan demikian akan diperoleh 6 x 2 = 12 variasi. Untuk masing-masing variasi diperlukan masa peram : 0(sudah dilakukan pengujian sebelumnya), 14, 28, dan 56 hari.

Pengujian : Tanah + RHA + Kapur + Serat 1,2%

Untuk mengetahui pengaruh serat polyester dan stabilisasi dengan kapur pada tanah + RHA, dilakukan pengujian tekan bebas pada tanah + RHA dengan kadar semen terbaik pada percobaan sebelumnya ditambah dengan serat polyester sebesar 1,2% . Persiapan sampel sama dengan percobaan sebelumnya dan disimpan dengan masa penyimpanan 14, 28, dan 56 hari.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

2.1. Lempung

Tanah lempung diambil dari Kabupaten Wonogiri Tanah lempung diambil dari daerah Kabupaten Wonogiri propinsi Jawa Tengah , dengan hasil sebagai pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian tanah lempung

<i>Parameter/besaran</i>	<i>Hasil</i>
Kadar air (w)	23%
Berat Jenis (Gs)	2,66
Berat volume basah	1,73 gr/cc
Fraksi halus (lolos # No. @ 200)	65%
Berat volume kering	1,5 gr/cc
Batas cair (w _L)	78%
Batas Plastis (P _L)	40%
Indeks Plastisitas (PI)	38%
Warna	Coklat tua

Dari tabel tersebut, tanah lempung memiliki fraksi halus sedang, indeks plasatisitas tinggi. Fraksi halus lebih kecil 90% dan indeks plastisitas lebih besar 35% dapat digolongkan sebagai tanah lempung dengan potensi dan tekanan pengembangan sedang. Jika indikatornya adalah prosentase fraksi halus , lempung tersebut digolongkan sebagai lempung dengan potensi pengembangan tinggi .

2.2. Pasir

Pasir sampel adalah pasir dengan kepadatan sedang (Dr = 76%) dan bergradasi baik (SP) yang ditunjukkan oleh koefisien keseragaman (Cu = 6,2 lebih besar 6) dan koefisien kelengkungan (Cc = 1,25 diantara 1 dan 3). Pasir bergradasi baik masih menyisakan rongga-rongga diantara butirannya, sehingga sangat dimungkinkan masuknya material- material pengisi termasuk bahan stabilisator yang dalam hal ini abu sekam padi.

2.3. Kimia Abu Sekam Padi

Unsur-unsur kimia yang diharapkan pada abu ampas tebu adalah : Al₂O₃, SiO₂, CaO, CaCO₃, dan karbon (C). Penelitian kimia dilakukan di Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kegunungapian (BPPTK) DIY di Jalan Kapas No. 15 Yogyakarta. Unsur abu ampas tebu didominasi oleh Silikat (SiO₂), dengan kadar kapur aktif (CaO) cukup rendah. Kadar silikat tersebut akan menambah prosentase yang cukup besar pada tanah lempung, namun dengan kadar CaO yang rendah tidak akan terjadi reaksi *pozzolanic*. Hatmoko, 2003, terlihat bahwa penambahan abu ampas tebu saja pada tanah lempung ekspansif tidak meningkatkan nilai tekan bebas yang cukup berarti karena tidak terjadi reaksi *pozzolanic* yang dapat meningkatkan kuat geser tanah tersebut. *Hatmoko & Lulie, 2005* melakukan penelitian mengenai kuat tekan bebas tanah ekspansif yang distabilisasi dengan abu ampas tebu dan kapur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kapur menurunkan tekanan dan potensi

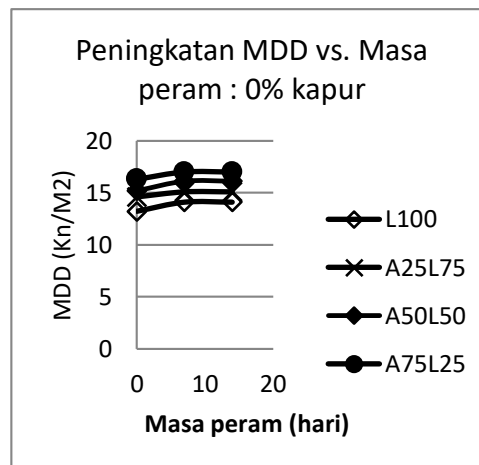
pengembangan dengan angka yang cukup berarti. Potensi pengembangan turun dari 12% ke 1,12% , sedangkan tekanan pengembangan turun dari 340 kPa ke 105 kPa, pada tanah dengan kadar kapur 10%. Disamping itu, kepadatan maksimum meningkat dan dicapai nilai maksimum pada kadar kapur 4%. Kuat tekan bebas selalu naik dengan kenaikan prosentase abu ampas tebu. Pada kadar abu ampas tebu 12,5% dicapai kuat tekan bebas maksimum yang kemudian menurun. Sehingga pada penelitian inipun tetap ditambahkan kapur pada stabilisasi tanah .

2.4. Kimia Kapur

Kapur untuk penelitian ini diambil dari lokasi pengambilan sampel ,Kecamatan Manyaran Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah. Hasil menunjukkan bahwa kadar CaO sebesar 57,50% prosentase fraksi halus atau lolos saringan # 200 sebesar 98,36% memenuhi syarat ASTM 1994. Untuk stabilisasi tanah dengan kapur disyaratkan bahwa kadar CaO tidak boleh kurang dari 60%, dengan butiran lolos saringan # 200 antara 70 – 100%.

2.5. Pemadatan

Hasil pemadatan tanah + RHA tanpa dan dengan tulangan. Hasil pengujian pemadatan tanah yang dicampur dengan RHA tanpa tulangan maupun dengan tulangan dapat dilihat pada Tabel 3 untuk tanah pasir dan Tabel 4 untuk tanah lempung. Kapur yang kaya akan kadar CaO dan MgO, jika dicampurkan pada tanah lempung terjadi reaksi pertukaran ion-ion positif. Ion-ion Ca^{++} dan Mg^{++} bertukar tempat dengan ion-ion Na^+ (sodium) dan K^+ (potassium) yang berada di dalam tanah lempung. Pertukaran ion-ion positif tersebut menurunkan indeks plastisitas yang diikuti oleh penurunan potensi pengembangan tanah. Disamping itu, adanya petukaran ion-ion tersebut akan menyebabkan terjadinya butiran yang lebih besar (flokulasi) yang akan meningkatkan kuat tekan maupun kuat geser tanah. Dalam jangka waktu tertentu terurainya kapur menjadi Ca^{++} dan $(\text{OH})^{-2}$ menyebabkan terjadinya reaksi posolanik karena ion Ca^{++} akan mengikat silika (SiO_2) dan (Al_2O_3) yang termuat didalam abu sekam padi. Pada jangka menengah ,kurang lebih 14 s.d. 28 hari, akan terjadi C-S-H (kalsium silika hidrat) dan C-A-H (kalsium aluminat hidrat); sedangkan pada jangka panjang (28 s.d. 50 hari) akan terjadi C-A-S-H (kalsium aluminat silikat hidrat).



Gambar 3. Hasil pengujian pemadatan tanah +RHA

Penambahan RHA menurunkan kadar air optimum dan meningkatkan kepadatan maksimum walaupun dengan besaran yang tidak berarti. Penurunan kadar air disebabkan oleh penyerapan air yang terkandung didalam tanah oleh RHA, sedangkan peningkatan kepadatan disebabkan oleh sementasi. Peningkatan yang tidak signifikan disebabkan sementasi yang terjadi tidak berlebih. Penambahan tulangan pada tanah + RHA tidak banyak berpengaruh baik terhadap penurunan kadar air optimum maupun peningkatan kepadatan maksimum. Kadar air tanah + RHA tidak turun secara signifikan disebabkan oleh sifat tulangan serat polyester yang tidak menyerap air. Sedangkan kepadatan maksimum tidak meningkat banyak disebabkan oleh orientasi serat yang cenderung bersifat geser.

Dari pengujian pemadatan pada berbagai jenis tanah , penambahan tulangan pada tanah pasir tidak meningkatkan kepadatan maksimum. Ada peningkatan kepadatan, namun tidak cukup signifikan. Berbeda dengan tanah pasir, penambahan RHA pada tanah lempung menurunkan nilai kadar air dan meningkatkan kepadatan maksimum dengan angka yang cukup berarti. Kadar air optimum turun dari 33% pada tanah asli L₁₀₀ menjadi 22,30% pada tanah dengan kadar RHA 75% (A₇₅L₂₅). Hal tersebut menunjukkan bahwa penyerapan air oleh RHA lebih efektif pada tanah lempung dibanding pada tanah pasir. Kepadatan juga ada peningkatan yang cukup berarti dari 13,2 kN/m³ pada tanah asli (L₁₀₀) menjadi 16,30 kN/m³ pada tanah yang dicampur 75% RHA

Tabel 3. Hasil pengujian pemadatan tanah lempung + RHA dengan atau tanpa tulangan

Sampel	Kadar air optimum (%)		Kepadatan Maksimum (kN/m ³)	
	Tanpa serat	Dgn serat	Tanpa serat	Dgn serat
L ₁₀₀	33	33,10	13,2	13,40
A ₂₅ L ₇₅	26,3	27,0	14,6	14,75
A ₅₀ L ₅₀	23,60	24,10	15,20	15,10
A ₇₅ L ₂₅	22,30	23,10	16,30	16,20

Peningkatan kepadatan maksimum pada campuran tanah lempung dengan RHA lebih besar dibandingkan pada tanah pasir. Hal ini disebabkan terjadinya hidrasi didalam tanah. Silika yang terkandung didalam RHA membentuk kalsium silikat hidrat. Dari hasil pengujian pemadatan yang diberlakukan pada tanah pasir yang dicampur dengan RHA dengan ataupun tanpa tulangan tidak menunjukkan perubahan yang signifikan pada kadar air optimum maupun kepadatan kering maksimumnya. Oleh sebab itu, pada pengujian kepadatan tanah – RHA – kapur hanya diberlakukan pada tanah lempung saja, mengingat perubahan kepadatan maksimum dan kadar air optimumnya cukup berarti dibandingkan pada tanah pasir. Hal ini disebabkan oleh terjadinya reaksi posolanik walaupun dalam kadar yang kecil mengingat kadar kapur (Ca) yang terkandung baik didalam tanah maupun didalam RHA tidak cukup memadai.

Tabel 4. Hasil pengujian pemadatan pada : Tanah - RHA – Kapur

Sampel	Peram (hari)	K. A. Opt(%)		K.K. Max (kN/m ³)	
		4%	8%	4%	8%
L ₁₀₀	0	33	33	13,40	13,60
A ₂₅ L ₇₅		25,10	25,00	15	15,30
A ₅₀ L ₅₀		22,10	22,00	15,50	16,10
A ₇₅ L ₂₅		21,10	21,00	16,50	17,00
L ₁₀₀	7	32,50	32,30	14,50	15,10
A ₂₅ L ₇₅		25,45	25,25	16,20	16,90
A ₅₀ L ₅₀		22,90	22,60	16,80	17,50
A ₇₅ L ₂₅		21,70	21,50	17,50	18,10
L ₁₀₀	14	32	32	15,00	15,20
A ₂₅ L ₇₅		25,40	25,20	16,20	16,80
A ₅₀ L ₅₀		33	33	17,20	17,30

Pada tanah dengan berbagai kadar RHA tanpa kapur (0% kapur) tidak menunjukkan penurunan kadar air optimum maupun peningkatan kepadatan kering maksimum. Sedikit penurunan OMC dan peningkatan MDD pada masa peram 7 hari, setelah itu hampir tidak terjadi penurunan OMC maupun peningkatan MDD pada masa peram 14 hari. Hal ini menunjukkan bahwa pada masa peram sampai 7 hari masih terjadi reaksi posolanik yang pada masa peram 14 hari unsur-unsur kalsium dan silika pada tanah maupun RHA sudah habis bereaksi.

Pada kadar kapur 4% terlihat ada kenaikan yang cukup berarti pada MDD nya. Hal tersebut karena penambahan kapur kedalam tanah yang menyebabkan pertama terjadinya reaksi pertukaran ion-ion positif bervalensi tinggi yang terkandung didalam kapur , Ca⁺⁺ dan Mg⁺⁺ dengan ion-ion positif bervalensi rendah K⁺ dan Na⁺ yang terkandung didalam tanah lempung. Reaksi tersebut akan menghasilkan butiran yang lebih besar (flokulasi) sehingga tanah akan lebih keras dan MDD nya akan meningkat. Kedua terjadinya reaksi posolanik yang membentuk hidrat C-S-H dan A-S-H yang mengakibatkan tanah menjadi keras. Reaksi ini terjadi dalam jangka waktu yang relatif lama, sehingga semakin lama tanah+kapur +RHA disimpan kuat tekan maupun kuat gesernya akan semakin tinggi dengan syarat bahwa kandungan Ca dan Al didalam kapur masih ada. Namun demikian, tidak demikian halnya mengenai OMC. OMC tanah tidak mengalami penurunan yang signifikan.

Tabel 5. Hubungan antara MDD & OMC vs. Masa peram

Sampel	Kadar air optimum (%)		Kepadatan kering maksimum (kN/m ²)	
	7 hari	14 hari	7 hari	14 hari
L ₁₀₀ K ₀	33	32	14,10	14,10
A ₂₅ L ₇₅ K ₀	25,90	25,90	16,20	16,20
A ₅₀ L ₅₀ K ₀	23,10	23,10	16,10	16,10
A ₇₅ L ₂₅ K ₀	22,00	22,00	17,00	17,00
L ₁₀₀ K ₄	32,50	32	14,50	15,00
A ₂₅ L ₇₅ K ₄	25,45	25,20	16,20	16,80
A ₅₀ L ₅₀ K ₄	22,90	22,70	16,80	17,30
A ₇₅ L ₂₅ K ₄	21,70	21,40	17,50	18,10
L ₁₀₀ K ₈	32	32	15,10	15,20
A ₂₅ L ₇₅ K ₈	25,25	25,20	16,90	16,80
A ₅₀ L ₅₀ K ₈	22,90	22,70	16,80	17,30
A ₇₅ L ₂₅ K ₈	21,70	21,40	17,90	18,10

Pada kadar kapur tinggi (A_xL_xK₄ dan A_xL_xK₈), kenaikan kepadatan maksimum (MDD) cukup besar. Semakin lama masa peram, MDD semakin meningkat yang disebabkan terjadinya reaksi sementasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat kedalam tanah dan campuran tanah dengan RRHA, meningkatkan kepadatan maksimum (MDD) dan menurunkan OMC. Hasil tersebut agak berbeda dengan penelitian Setty (1997) yang menyatakan bahwa penambahan serat polupropeline meningkatkan baik MDD maupun OMC tanah. Namun demikian, di dalam penelitian ini, penambahan tulangan serat polyester kedalam tanah pasir, lempung maupun campuran kedua tanah tersebut dengan RHA maupun SERAT tidak meningkatkan MDD dan menurunkan OMC secara signifikan. Oleh sebab itu, pengaruh penambahan serat pada sifat-sifat pemadatan perlu dilakukan penelitian lebih jauh dengan jalan menambahkan jenis serat dan kandungan serat yang berbeda.

2.6. Geser Langsung

Pengujian geser langsung menggunakan sampel lingkaran dengan diameter 63 mm x tinggi 25,5 mm, tingkat deformasi 0,20 mm per menit. Agar supaya hasil pengujian akurat, pada pengujian ini masing-masing sampel tanah : tanah asli (P₁₀₀, L₁₀₀), A₅₀P₅₀, A₅₀L₅₀ diberikan tegangan normal yang berbeda yaitu : 23 kPa atau beban 2 kgr, 30 kPa (3 kgram beban), dan 46 kPa (8 kgram beban).

Tanah tanpa tulangan mengalami keruntuhan karena geser pada perubahan geser berkisar antara 2 s.d. 2,5 mm dengan tegangan geser berkisar antara 70 sampai dengan 80 kPa, sementara pada tanah dengan tulangan runtuh pada tegangan yang lebih tinggi (100 sampai 120 kPa) dengan perubahan geser lebih dari 4 mm. Fenomena ini menunjukkan bahwa penambahan tulangan serat disamping menambah kuat geser juga meningkatkan daktilitas tanah. Namun demikian, perubahan vertikal pada sampel tanah dengan tulangan nampak jauh lebih tinggi dibanding dengan sampel tanah tanpa tulangan. Pada sampel tanah tanpa tulangan perubahan vertikal maksimum kurang dari 0,3 mm, sementara pada tegangan normal dan perubahan horisontal yang sama, perubahan vertikal sampel tanah dengan tulangan lebih besar dari 0,70 mm. Tegangan total dan parameter-parameter geser tanah dengan dan tanpa tulangan disajikan pada tabel 9. Perubahan sudut gesek dalam (Φ) dan kohesi cukup konsisten. Penambahan 1,2% tulangan serat pada tanah menurunkan nilai kohesi pada tanah lempung namun meningkatkan sudut gesek dalam. Kandungan RHA didalam tanah meningkatkan baik nilai kohesi maupun harga sudut gesek dalamnya

Tabel 6. Hasil pengujian geser langsung tanah tanpa tulangan dan dg 1,2% serat

Sampel Tanah		Tanpa Tulangan		Dgn. Tulangan	
		c (kPa)	Φ (der)	c (kPa)	Φ (der)
LEMPUNG	L	20,2	10	11,1	34,2
	A ₂₅ L ₇₅	19,2	21,2	11,6	35,2
	A ₅₀ L ₅₀	18,9	25,8	12,2	36,9
	A ₇₅ L ₂₅	18,6	29,1	12,1	34,5
PASIR	P	9,3	34,2	11,6	39,3
	A ₂₅ P ₇₅	10,4	34,2	18,7	39,4
	A ₅₀ P ₅₀	11,2	34,4	23,4	40,3
	A ₇₅ P ₂₅	11,5	33,2	25,1	35,1

Peningkatan kadar RHA tidak merubah banyak nilai kohesi maupun sudut gesek dalam. Perubahan kohesi hampir mendekati nol berkisar antara 0 sampai dengan 4 %. Sudut gesek dalam meningkat pada saat kadar abu 0 ke 25% setelah itu konstan bahkan mengalami penurunan. Hal ini disebabkan bahwa keberadaan RHA tidak menimbulkan reaksi apapun di dalam tanah pasir. Tidak demikian halnya pada tanah lempung, penambahan RHA akan menyebabkan reaksi pertukaran ion walaupun pada kadar yang relatif kecil yang berakibat pada terjadinya butiran yang lebih besar. Namun demikian, penambahan tulangan serat meningkatkan baik nilai kohesi maupun sudut gesek dalam.

2.7. Kuat Tekan Bebas : Tanah-RHA - Serat

Uji kuat tekan bebas dilakukan dimana sampel dalam bentuk silinder dengan kadar air optimum (OMC) dan kepadatan kering maksimum (MDD) yang diberlakukan pada pengujian pemadatan standard. Ukuran cetakan : diameter 67,9 mm dengan tinggi 131,6 mm. Untuk meyakinkan bahwa kepadatan yang diperoleh merata, semua bahan yang akan diuji didalam alat tekan bebas dimasukkan kedalam tabung dan dipadatkan dalam 3 lapisan. Untuk setiap variasi dibuat 3(tiga) buah sampel untuk diuji. Perilaku tegangan-regangan sangat dipengaruhi oleh tulangan serat. Pada contoh-contoh tanah tanpa tulangan keruntuhan terjadi pada tegangan yang sangat rendah 10 sampai 50 kPa, dan dengan regangan kurang dari 5%. Sementara itu, tanah dengan tulangan mencapai keruntuhan sampai dengan regangan diatas 15% dengan tegangan geser lebih dari 300 kPa. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan serat di dalam tanah meningkatkan kuat geser dan juga meningkatkan daktilitas tanah. Pengaruh serat pada tanah lempung + RHA menunjukkan peningkatan kuat tekan bebas yang cukup signifikan dibanding pada pasir + RHA. Tabel 7 menunjukkan kuat tekan bebas dengan tulangan dan tanpa tulangan untuk berbagai variasi tanah. Jika q : kuat tekan bebas tanah tanpa tulangan; q_s : kuat tekan bebas tanah dengan tulangan. P_s berbanding terbalik dengan q dimana jika q turun maka P_s naik, atau sebaliknya .

Tabel 7. Kuat tekan bebas tanah dengan dan tanpa tulangan

Sampel tanah	Tanpa Tulangan	Dgn. Tulangan	P_s (%)
L ₁₀₀	66,2	160,3	142
A ₂₅ L ₇₅	63,3	200,4	217
A ₅₀ L ₅₀	54,2	305,2	463
A ₅₀ P ₅₀	34,5	475,3	2207
A ₂₅ P ₇₅	26,3	421,5	1503

Antara kenaikan relatif pada penambahan tulangan serat dengan kuat tekan bebas tanpa tulangan terjadi korelasi negatif. Koefisien determinasi $R^2 = 0,8407$ sehingga koefisien korelasi $R = 0,917$. Korelasi ini cukup kuat yang berarti penambahan tulangan SERAT cukup signifikan dalam meningkatkan kuat tekan bebas tanah + RHA.

2.8. Tekan Bebas Tanah – RHA - Kapur

Pengaruh stabilisasi kapur pada tanah yang dicampur dengan RHA di evaluasi dengan pengujian tekan bebas . Tanah + RHA dicampur dengan 4% dan 8% kapur dan diperam dengan periode waktu yang berbeda yaitu : 0, 14, 28 dan 56 hari. Sampel tanah disiapkan dengan cara yang sama seperti pada pengujian-pengujian sebelumnya. Untuk pemeraman, setiap sampel dibungkus di dalam plastik untuk menjaga agar kadar air tidak menurun. Setelah pemeraman dilakukan uji tekan bebas, setiap variasi sampel dan masa pemeraman disiapkan minimal 3 buah sampel. Tanah lempung – RHA – kapur mengalami kenaikan kuat tekan bebas terhadap masa peram pada kadar RHA 25%, kadar kapur baik 4% maupun 8% (A₂₅L₇₅K₄, A₂₅L₇₅K₈). Hubungan antara kuat tekan bebas (y) dengan masa peram (x) untuk tanah : A₂₅L₇₅K₈ jika dibuat persamaan regresi adalah : $y = 37,1x + 419,9$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,865$. Sedangkan untuk tanah : A₂₅L₇₅K₄ persamaannya adalah : $y = 19,2x + 252,8$, $R^2 = 0,814$. Korelasi antara kuat tekan bebas dengan masa pemeraman untuk kedua sampel tanah tersebut cukup kuat mendekati 1. Terlihat pada komposisi tanah tersebut kenaikan kuat tekan bebas terhadap waktu pemeraman cukup tajam, bahkan lebih tajam dibandingkan dengan komposisi yang sama pada tanah lempung. Hal itu terjadi kemungkinan disebabkan oleh dua hal : pertama adanya sementasi pada fraksi tanah berbutir kasar, dan reaksi posolanik pada fraksi tanah halus.

Tabel 8. Kuat tekan bebas (kPa) : tanah – RHA – Kapur

Kadar Kapur	Sampel Tanah	Masa Peram (hari)			
		0	14	28	56
4%	L ₁₀₀ K ₄	51,2	539,9	743,8	875,6
	A ₇₅ L ₂₅ K ₄	60,5	600,9	806,3	900,6
	A ₅₀ L ₅₀ K ₄	46,9	635,2	821,4	956,8
	A ₂₅ L ₇₅ K ₄	36,1	718,9	925,2	1207,5
	A ₇₅ P ₂₅ K ₄	43,9	198,2	210,8	300,7
	A ₅₀ P ₅₀ K ₄	34,2	206,4	371,2	669,1
	A ₂₅ P ₇₅ K ₄	21,2	184,1	342,2	619,5
8%	L ₁₀₀ K ₈	51,2	754,8	867,5	1056,4
	A ₇₅ L ₂₅ K ₈	60,5	798,2	900,6	1107,2
	A ₅₀ L ₅₀ K ₈	46,9	804,3	1029,1	1201,1
	A ₂₅ L ₇₅ K ₈	36,1	1305,7	1678,5	2298,5
	A ₇₅ P ₂₅ K ₈	43,9	473,2	731,2	1049,2
	A ₅₀ P ₅₀ K ₈	34,2	498,9	818,2	1391,3
	A ₂₅ P ₇₅ K ₈	21,2	433,8	756,1	1309,7

2.9. Kuat Tekan Bebas Tanah – RHA- Kapur- Serat

Untuk mempelajari pengaruh kombinasi inklusi serat kedalam tanah + RHA + kapur, dilakukan pengujian kuat tekan bebas. Sampel yang disajikan didalam laporan ini adalah : A₂₅L₇₅K₄, dan A₂₅L₇₅K₈, dengan dan tanpa tulangan. Sampel dipersiapkan sama dengan pengujian-pengujian sebelumnya, yang ditambah dengan serat 1,2%, yang kemudian disimpan dengan waktu simpan : 0, 14, 28, dan 56 hari. Tanah tanpa tulangan bersifat kaku. Tanah tersebut runtuh pada regangan sekitar 2% dengan tegangan tekan sekitar 450 kPa untuk tanah : A₂₅L₇₅K₄ : 1.2% serat untuk masa peram 14 hari dan sekitar 550 kPa pada masa peram 56 hari. Untuk tanah A₂₅L₇₅K₈ : 1.2% serat, regangan pada saat runtuh kurang lebih sama sekitar 2%, namun demikian tegangan nya lebih tinggi sekitar 550 kPa (14 hari) dan 650 kPa (56 hari). Untuk tanah dengan tulangan serat regangan yang terjadi pada saat leleh mencapai lebih dari 10% dengan kuat tekan bebas mencapai 1200 kPa. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa penambahan 1,2% serat pada tanah akan meningkatkan daktilitas dan kuat tekan bebas.

3. KESIMPULAN

Serangkaian percobaan telah dilakukan untuk mengamati pengaruh tunggal dan kombinasi dari serat yang disebar secara acak di dalam tanah yang distabilisasi dengan RHA dan kapur, dapat disimpulkan beberapa poin sebagai berikut:

1. Pada pengujian pemadatan, tanah dengan berbagai kadar RHA tanpa kapur (0% kapur) tidak menunjukkan penurunan kadar air optimum maupun peningkatan kepadatan kering maksimum. Sedikit penurunan OMC dan peningkatan MDD pada masa peram 7 hari, setelah itu hampir tidak terjadi penurunan OMC maupun peningkatan MDD pada masa peram 14 hari. Untuk kadar kapur 4 dan 8% menunjukkan peningkatan kepadatan MDD dan penurunan OMC sejalan dengan lamanya waktu pemeraman.
2. Pada pengujian geser langsung, serat yang dicampur secara acak di dalam tanah akan meningkatkan regangan horisontal dan regangan vertikal pada tanah yang distabilisasi dengan RHA pada kondisi MDD dan OMC.
3. Pada pengujian yang sama terlihat bahwa penambahan serat kedalam tanah – RHA tidak secara konsisten meningkatkan parameter geser tanah yaitu kohesi (c) dan sudut gesek dalam (Φ). Namun demikian secara umum penambahan serat meningkatkan kuat geser tanah.
4. Didalam pengujian kuat tekan bebas, tanah + RHA yang dipadatkan maksimum pada MDD – OMC nya berperilaku getas. Perilaku getas nampak jelas pada tanah yang distabilisasi kapur dibandingkan dengan tanah yang tidak distabilisasi. Penambahan serat meningkatkan daktilitas tanah baik yang distabilisasi maupun tidak distabilisasi dengan kapur.
5. Peningkatan kuat tekan bebas pada tanah + RHA tanpa kapur sebagai akibat dari tulangan serat tergantung pada kuat tekan pada sampel tanpa tulangan. Peningkatan relatif kuat tekan bebas akibat serat meningkat berbanding terbalik dengan kuat tekan bebas tanah tanpa tulangan.
6. Penambahan serat meningkatkan tegangan tekan pada tanah yang tidak distabilisasi. Namun demikian peningkatan tegangan tekan tersebut tidak setinggi kenaikan kuat tekan bebas pada kesimpulan 4.

7. Kuat tekan bebas pada tanah + RHA meningkat akibat penambahan kapur dan serat. Hal ini tergantung pada campuran dan masa pemeraman. Peningkatan kuat tekan bebas yang disebabkan oleh gabungan kapur dan serat relatif besar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan peneliti kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat Universitas Atma Jaya Yogyakarta atas biaya yang diberikan untuk penelitian ini.

PUSTAKA

- Clough .1981. Cemented Sand under Static Loading. *J.of Geotech. Eng.*, ASCE, vol. 115, No.8, pp.1102-1117.
- Damayanti, D. (2004). Penggunaan serat polyester (*coco-fiber*) sebagai bahan stabilisat mekanis tanah lempung. *Tugas Akhir Sarjana Strata I*, Pro-Di. Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta
- Diane,A.,2001. Studi Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Geser, Potensi Pengembangan, dan Nilai CBR Tanah Lempung. *Tugas Akhir Sarjana Strata I*, Pro-Di. Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Diana, W & Muntohar, A.S.2012. Kuat tekan bebas tanah lempung yang distabilissi dengan limbah karbit dan abu sekam padi. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil ke 6*, Universitas Trisakti , Jakarta 1- 2 Nopember 2012, hal. 33-37.
- Diana, W, & Muntohar, A.S. 2013. Kuat geser dan kuat tarik belah tanah lempung yang distabilisasi dengan limbah karbit dan abu sekam padi. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil ke 7*, Universitas Sebelas Maret , Surakarta 24 – 26 Oktober 2013, hal. 69 – 75.
- Hatmoko, John. T.& Lulie, Y.2004. Perilaku tanah Pasir Tersementasi di dalam Alat Uji Triaksial Konvensional. *Laporan Penelitian Universitas Atma Jaya Yogyakarta*.
- Hatmoko, John., T. & Lulie, Y. .2005. UCS Tanah Lempung Ekspansif yang di stabilisasi dengan Abu Ampas Tebu dan Kapur. *Laporan Penelitian Universitas Atma Jaya Yogyakarta*
- Horpibulsuk, S., and Miura, N.2001. A new approach for studying of behavior of cement stabilized clay. *Proceeding the 15th Inter. Conf. on Soil Mech. and Geotech. Eng.*, vol. 3., Istanbul, Turkey, pp.1759-1762.
- Horpibulsuk .2013. Engineering properties of silty clay stabilized with calcium carbid residu. *J. of mat. in Civil Eng.*, ASCE, Vol. 125, No.5, 470 -475.
- Jaturapitakkul, C., Roongreung, B.2003. Cementing Material from Calsium Carbide Residu-Rice Husk Ash. *Journal of materials in Civil Engineering @ASCE*, Vol.15 No.5., 470-475.
- Kampala, A., Horpibulsuk, S.2013. Engineering Properties of Silty Clay Stabilized with Calcium Carbide Residue. *Journal of materials in Civil Engineering @ASCE*, Vol.25 No.5., 632-644.
- Leroueil,S. and Vaughan, P.R. 1990. The general and congruent effects of structure in natural soil and weak rocks.” *Geotechnique, London* , vol.40, no.3 pp. 467-488.
- Li Y., Hu Y., Hu C. 2008. Microstructures andmechanical properties of naturalfibres. *Advanced Materials Research* Vol. 33-37, pp. 553-558.
- Maher,M.H, and Ho, Y.C. (1994). Mechanical Properties of kaolinite-fiber soil composite. *J.of Geotech. Eng.*, ASCE No. 120, Vol. 8, pp. 1381- 1393.
- Makaratat, N., Jaturapitakkul, C., Laosamathikul, T.2010. Effect of Calsium Carbide Residue -Fly ash Binder on Mechanical Properties of Concrete. *J. of Mtls. in Civil Eng. @ASCE*, Vol.22 No.11., 1164-1170.
- Mittal. Davinder. 1997. Silica from Ash: A Valuable Product from Waste Material. *Resonance*. Vol. 2(7), hal. 64-66.
- Nagaraj, T.S., and Miura, N.2001. Soft Clay-Behavior – Analysis and Assessment. *Balkema*, Rotterdam.
- Puppala, J.A. 1995. Cone Penetration in Very Weakly Cemented Sand. *J.l of Geotech. Eng.*, 121(8) pp.589- 600.
- Rad, N.S. and Clough, G.W. (1982). The infuence of Cementation on the static and dynamic behavior of sand. *Geotechnical Testing Journal* , pp.117-125.
- Sulistyo, B. 2013. Stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan serat polyester. *Tugas Akhir Sarjana Strata I*, Pro-Di. Teknik Sipil Fakultas Teknik UAJY
- Thalib, M., Bankole, G.M.2011. Improvement of index properties and compaction characteristics of lime stabilized tropical lateritic clays with risk husk admixture. *J. of Geotech. and Geoenvir. Eng.*, Vol. 16; pp. 983-996
- Yadu, L. , Tripathi, R.K.2011. Comparison of fly ash and rice husk ash stabilized black cotton soil. *Inter. J. of Earth Science and Engineering*, Vo. 4, No 06 , pp. 42 – 45.

PERUBAHAN PERILAKU GESER TANAH LEMPUNG YANG DISTABILISASI DENGAN SEMEN OLEH PENGARUH TEMPERATUR PEMERAMAN

John Tri Hatmoko¹, Hendra Suryadharma²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Makassar

Jalan Babarsari No. 23, Yogyakarta

Telp. (0274) 87711

E-mail: john@mail.uajy.ac.id, surya@mail.uajy.ac.id

ABSTRAK

Berbeda dengan beton, pengaruh temperatur pemeraman pada tanah lempung yang distabilisasi dengan semen masih belum banyak dilakukan. Serangkaian pengujian dilakukan pada penelitian ini untuk mengkaji perbedaan tersebut dengan menggunakan lempung yang distabilisasi dengan semen portland biasa. Sejumlah komposisi campuran lempung - semen diperam dengan temperatur pemeraman yang berbeda : 25, 30, 40, dan 50°C, dengan waktu pemeraman 7, 14, 21, 28, 36, dan 56 hari. Pengujian geser dilakukan dengan uji tekan bebas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa : kuat tekan bebas tanah lempung yang distabilisasi dengan semen meningkat dengan bertambahnya suhu pemeraman pada waktu pemeraman yang sama. Disamping itu, kadar air pada saat pencampuran juga berpengaruh pada hasil kuat tekan bebas. Hasil penelitian ini menunjukkan kecenderungan yang mirip dengan hasil-hasil penelitian terdahulu.

Kata Kunci: lempung, semen, kuat geser, temperatur pemeraman, waktu pemeraman

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Skema teknologi perbaikan tanah dengan bahan kimia (yang banyak mengandung CaO) yang populer dilakukan selama ini adalah dengan penambahan kapur dan semen. Di Asia, termasuk di Indonesia penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi lebih populer dibandingkan dengan penggunaan kapur. Hal tersebut tidak hanya disebabkan keberadaan semen yang melimpah namun juga penggunaan semen sebagai bahan tambah jauh lebih efektif dibandingkan dengan kapur (Broms 1984, 1986 ; Consoli, 2001; ; Clough 1981; Venda et al. 2014; Yadu et al. 2011). Disamping itu, teknik penerapannya di lapangan jauh lebih praktis dan mudah. Sejumlah pengujian laboratorium yang meneliti tentang tanah lempung yang distabilisasi dengan semen sudah dilakukan (Uddin et al. 1997; Watabe et al. 2000; Petchgate et al. 2001; Yin 2007; Hatmoko 2005, 2007). Dari beberapa penelitian tersebut mengakomodasi kandungan semen pada tanah. Kandungan semen didefinisikan sebagai perbandingan berat antara semen dengan tanah dalam keadaan kering (Kamon & Bergado 1991; Bergado et al. 1999). Miura et al. (2001) memperhitungkan kandungan air pada penelitiannya tentang perilaku tanah lempung yang distabilisasi dengan semen. Namun demikian pada evaluasi parameter ini tidak memperhitungkan *pengaruh temperatur* pada waktu pemeraman terhadap perilaku geser tanah lempung yang distabilisasi dengan semen.

Di dalam praktik di lapangan, panas yang dihasilkan oleh hidrasi semen menyebabkan peningkatan temperatur pada proses stabilisasi. Di daerah tropis seperti Singapura, Malaysia dan juga Indonesia, temperatur yang terjadi didalam campuran tanah-semen mencapai suhu lebih dari 38°C yang jauh lebih tinggi dibanding temperatur laboratorium pada saat dilakukan pemeraman (Lu et al. 2011). Perbedaan antara temperatur pada saat pemeraman dengan temperatur pada waktu pelaksanaan di lapangan tersebut tidak pernah diperhatikan pada praktik-praktik perencanaan meskipun pengaruh temperatur terhadap perilaku geser tanah tersementasi cukup besar (Mindess et al. 1981; Neville 1996; Morohoshi et al. 2010). Pada teknologi beton dan mortar, pengaruh perubahan temperatur tersebut sudah banyak diteliti (Minder et al. 1981; Neville 1996; Morohoshi et al. 2010) yang pada umumnya kuat desaknya tinggi pada awal pemeraman dibanding pada masa peram yang lebih lama pada temperatur tinggi. Perilaku tersebut juga diteliti terkait dengan tanah berbutir halus maupun kasar yang distabilisasi dengan semen, termasuk tanah buatan yang tersusun dari : 45% kerikil, 15% pasir, 20% lanau dan 20% lempung (Chitambira 2004 ; Chitambira et al. 2007). Soroka (1993) dan Chitambira et al. (2007) menyarankan bahwa peningkatan temperatur pada saat pemeraman meningkatkan kuat geser tanah yang distabilisasi dengan semen pada awal waktu pemeraman. Namun demikian pengaruh waktu pemeraman tersebut pada tanah lempung belum banyak dilakukan.

Oleh sebab itu, perlu diperhitungkan pengaruh temperatur pemeraman terhadap perilaku geser tanah lempung yang distabilisasi dengan semen. Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh temperatur pemeraman pada kuat geser tanah yang distabilisasi dengan semen, dan jika memungkinkan mengembangkan model yang tepat untuk pengaruh temperatur pemeraman pada tanah lempung yang distabilisasi dengan semen tersebut. Tujuan penelitian tersebut dirumuskan dari dua masalah yang timbul yaitu : apakah ada pengaruh temperatur terhadap perilaku geser tanah lempung yang distabilisasi dengan semen? dan apakah dapat dibuat model untuk mendekati pengaruh temperatur pemeraman terhadap perilaku geser tanah lempung yang distabilisasi dengan semen?. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu dengan ditemukannya parameter baru (temperatur) pada perilaku geser tanah lempung yang distabilisasi dengan semen, sehingga menambah referensi pada para peneliti dan praktisi geoteknik.

Tanah yang digunakan sebagai bahan dasar penelitian diambil dari Wates kabupaten Kulonprogo. Menurut penelitian terdahulu (Hatmoko, 2005) tanah di lokasi tersebut memiliki kandungan lempung yang cukup tinggi pada lapis-lapis tertentu. Menurut pengeboran yang dilakukan pada waktu itu, dari lapis permukaan sampai kedalaman 3,00 meter berupa pelapukan tanah lempung ; sekitar 5,00 meter dibawahnya berupa lapisan lempung lunak ; 4,500 meter berikutnya berupa lempung kaku. Setelah lapisan tersebut lapisan tanah selang-seling antara pasir padat dan lempung kaku. Lapisan berikutnya berupa pasir padat dan pasir – kerikil. Oleh adanya sejarah pembebanan (*stress history*) yang dialami oleh tanah tersebut ada kemungkinan adanya perubahan sifat mekanika tanah walaupun stratifikasinya tetap. Oleh sebab itu, dilakukan pengambilan sampel ulang melalui pengeboran dalam.

1.2. Tinjauan Pustaka

Penerapan stabilisasi tanah lempung , terutama lempung lunak, dengan semen pada tanah dasar jalan raya dan reklamasi mendapat perhatian cukup signifikans dan sangat populair pada dua dasa warsa terakhir (Probaha et al. 1999; Tang et al. 2008; Dermatas et al. 2003; Kitazumi 2005; Chiu et al. 2008; Tan et al. 2011). Deposit tanah lempung lunak yang pada umumnya memiliki stabilitas volume dan kuat geser rendah berada menyebar di seluruh dunia terutama di daerah-daerah pantai dan area-area yang rendah. Di beberapa kota besar secara geologis memiliki deposit tanah lempung yang cukup dalam (Bergado et al. 1996). Tanah jenis ini memiliki kompresibilitas dan potensi kembang susut tinggi, dengan kuat geser yang relatif rendah. Oleh sebab itu sifat-sifat fisika dan mekanika tanah jenis ini tidak seperti yang diharapkan oleh para ahli geoteknik. Mereka menghadapi persoalan pada pembangunan infra struktur diatas tanah lempung lunak tanpa perbaikan tanah, baik perbaikan tanah dangkal maupun dalam. Di kota-kota besar, perkembangan teknologi infra struktur seperti gedung-gedung tinggi, jalan raya, jembatan dan yang lain membutuhkan tanah dasar yang cukup baik, oleh sebab itu perbaikan tanah perlu dilakukan dengan sedikit mengabaikan metode-metode tradisional yang selama ini masih sering diterapkan.

Penerapan metode-metode tradisional dalam ilmu geoteknik dan mekanika tanah sering menghadapi banyak masalah yang disebabkan oleh tingginya ongkos maupun faktor-faktor lingkungan. Sebagai contoh pada pembangunan jalan , penggunaan pondasi tanah berbutir yang lokasinya jauh dari proyek akan menyebabkan tingginya biaya transportasi. Contoh lain pada pembangunan pondasi yang memiliki daya dukung rendah dimana untuk pembangunan pondasi dalam memerlukan biaya yang cukup tinggi ditinjau dari harga proyek secara keseluruhan. Contoh lain pada pembangunan jalan maupun pondasi diatas tanah lempung ekspansif akan menyebabkan keretakan pondasi bangunan ataupun badan jalan yang bersangkutan.

Pada kasus-kasus tersebut, suatu alternatif yang baik adalah peningkatan kekuatan tanah lokal, baik kuat geser maupun kuat tekannya dengan penambahan semen pada tanah tersebut. Teknik-teknik stabilisasi tanah dengan semen sudah banyak diterapkan dengan keberhasilan yang cukup antara lain : peningkatan kuat geser pondasi jalan, perlindungan terhadap lereng, lapisan dasar podasi maupun untuk meningkatkan tahanan terhadap bahaya *liquefaction* (Dano C. 2004 ; Dupas and Pecker 1979; Hatmoko 2005, 2007).Perbaikan tanah dengan bahan tambah dilakukan dengan jalan menambahkan bahan-bahan kimia baik yang diproduksi oleh pabrik seperti semen, kapur, Geosta, maupun bahan kimia yang berasal dari limbah seperti: abu terbang. Disamping itu, bahan tambah bisa berupa bahan alami atau bahan-bahan kima lain yang dapat bereaksi dengan tanah. Pencampuran bahan tambah dengan tanah dapat dilakukan dengan mencampur (*mixing*), maupun dengan injeksi. Ketika bahan tambah diinjeksi melalui lobang bor dengan tekanan tertentu kedalam ruang kosong didalam tanah atau antara tanah dengan struktur, proses ini disebut *grouting*. Ketika bahan pengikat seperti semen, kapur maupun abu terbang dicampur dengan tanah dengan kadar air tertentu, sederetan reaksi akan terjadi oleh disosiasi kapur aktif (CaO) pada bahan pengikat yang menghasilkan formasi gel-gel yang bersifat posolanik seperti calcium silikat hidrat (C-S-H), dan calcium aluminat silikat hidrat (C-A-S-H).

Penggunaan kapur sebagai bahan stabilisasi lempung *montmorilonite (ekspansif)* sudah sangat berkembang dan sangat disukai pada beberapa dekade disebabkan oleh sifatnya yang memiliki perubahan volume kecil (*Transportation Research Board* 1986). Biasanya jumlah kapur yang diperlukan berkisar antara 2 sampai dengan

8% berat tanah (Chen 1975). Penambahan kapur pada tanah lempung memberikan ion-ion calcium (Ca^{++}) dan ion magnesium (Mg^{++}) yang cukup banyak. Ion-ion tersebut akan menggantikan ion-ion positif bervalensi rendah seperti sodium (Na^+) atau potassium (K^+). Proses ini disebut sebagai reaksi pertukaran ion-ion positif (kation). Pertukaran natrium atau potassium oleh calcium atau magnesium secara signifikan mereduksi indeks plastisitas tanah, yang diikuti oleh penurunan potensi pengembangan. Disamping untuk meningkatkan proses pertukaran ion, penambahan kapur kedalam tanah meningkatkan derajat keasaman (pH) tanah. Juga menyebabkan terjadinya perubahan tekstur tanah jika dilakukan penambahan kapur pada tanah tersebut. Dengan bertambahnya kapur, kandungan lempung menurun dan prosentasi butiran kasar meningkat. Hal ini sering disebut sebagai proses *flukulasi-aglomerasi*.

Penambahan semen pada tanah ekspansif mengurangi potensi pengembangan tanah. Menurut Schaefer dkk. (1997), jumlah semen yang diperlukan untuk stabilisasi tanah ekspansif berkisar dari 2 sampai 6% berat tanah. Menurutnya interaksi antara semen dengan tanah adalah bahwa partikel semen Portland adalah substans heterogen yang mengandung trikalsium silikat (C_3S), dikalsium silikat (C_2S), trikalsium aluminat (C_3A), dan tetrakalsium aluminat (C_4A), empat konstituen tersebut dapat meningkatkan kekuatan tanah. Ketika semen masuk kedalam rongga tanah yang berisi air, hidrasi semen akan terjadi dengan cepat, dan hidrasai utama (sementasi) menghasilkan calcium silikat hidrat – C-S-H (C_2SH_x , $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_x$); calcium aluminat hidrat – C-A-H ($\text{C}_3\text{A}_2\text{H}_x$, C_4AH_x); calcium hidrat – $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Dalam waktu yang relative lama akan terbentuk calcium aluminat silikat hidrat (C-A-S-H). Kedua reaksi pertama disebut sebagai reaksi sementasi /reaksi posolanik tahap I yang terjadi dalam waktu yang relatif pendek. Calcium hidrat – $\text{Ca}(\text{OH})_2$ terpisah dari reaksi sementasi. Sedangkan reaksi terakhir dimana C-A-S-H terbentuk disebut sebagai reaksi posolanik tahap II yang terjadi dalam jangka waktu yang relative lama. Oleh sebab itu, pada pengujian kuat desak beton mutu tinggi (sebagai contoh) tidak berhenti hanya pada waktu pemeraman 28 hari melainkan 56 hari atau bahkan 90 hari.

1.3. Metode Penelitian

Eksplorasi Tanah di lapangan

Tanah yang digunakan sebagai bahan dasar penelitian diambil dari Wates kabupaten Kulonprogo. Menurut penelitian terdahulu (Hatmoko, 2005) tanah di lokasi tersebut memiliki kandungan lempung yang cukup tinggi pada lapis-lapis tertentu. Menurut pengeboran yang dilakukan pada waktu itu, dari lapis permukaan sampai kedalaman 3,00 meter berupa pelapukan tanah lempung; sekitar 5,00 meter dibawahnya berupa lapisan lempung lunak; 4,500 meter berikutnya berupa lempung kaku. Setelah lapisan tersebut lapisan tanah selang-seling antara pasir padat dan lempung kaku. Lapisan berikutnya berupa pasir padat dan pasir – kerikil. Oleh adanya sejarah pembebanan (*stress history*) yang dialami oleh tanah tersebut ada kemungkinan adanya perubahan sifat mekanika tanah walaupun stratifikasinya tetap. Oleh sebab itu, pada penelitian ini dilakukan pengambilan sampel ulang dengan bor dalam dengan 3(tiga) buah titik sampel. Alat bor yang digunakan adalah Bor mesin dengan tipe *Rotary Spindle Type : Skid Mounted* dengan diameter lobang bor : 7.295 cm. Alat bor mesin tipe ini mampu mengebor sampai kedalaman 60,00 meter. Pada alat bor ini didampingi uji penetrasi standar (SPT), sehingga nilai N-SPT untuk tiap-tiap lapisan tanah diketahui.

Uji Laboratorium

Pengujian kadar air menggunakan standar ASTM D2216-71 (ASTM Standard), dengan menggunakan alat-alat : cawan dan oven dengan pengontrol temperatur yang akurat. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar air yang terkandung dalam tanah yang akan digunakan di dalam penelitian ini. Pengujian berat jenis menggunakan referensi : AASHTO T100-70, dan ASTM D854-58. Analisis juga menggunakan standar yang sama. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis tanah yang akan digunakan didalam penelitian. Pengujian analisis menggunakan referensi: AASHTO T87-70 (persiapan sampel); AASHTO T88-70 (prosedur pengujian), dan ASTM D421-58, dan D422-63. Sedangkan pengujian hydrometer menggunakan referensi AASHTO T87-70, T88-70, ASTM D421-59, dan D422-63. Pengujian ini untuk mengetahui distribusi ukuran butir kedua jenis tanah yang dipakai didalam penelitian ini dan kemudian menentukan klasifikasi tanah tersebut menurut *Unified Soil Classification*. Pada penelitian ini, uji pemadatan standar Proctor dilakukan untuk menentukan kadar air optimum yang akan digunakan pada sampel tanah + semen. Standard yang digunakan untuk pengujian ini adalah : ASTM D 2435. Pengujian ini diterapkan terutama pada tanah pasir tersementasi untuk mengetahui seberapa besar perubahan parameter geser tanah akibat sementasi. Standar pengujian mengacu pada ASTM D 2166.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

2.1. Pengujian Awal

Serangkaian pengujian awal seperti pengujian kadar air, batas-batas konsistensi, berat jenis, analisis saringan dan hidrometer sudah dilakukan dengan ringkasan hasil dapat dilihat pada Tabel 1. Kadar air tanah 98%, batas cair 89%, batas plastis 30,5% yang menghasilkan indeks plastisitas 67,5%. Tanah terletak dibawah garis U dan diatas garis A grafik Casagrande, sehingga tanah lempung Wates, menurut *USCS* termasuk *CH* (*high plasticity clay*). Tanah sampel memiliki indeks plastisitas tinggi > 50%, sehingga tanah ini ada indikasi sebagai tanah ekspansif. Namun demikian pada penelitian ini tidak mempertimbangkan ekspansifitas tanah lempung sebagai parameter.

Tabel 1. Parameter dasar lempung Wates

Parameter	Harga
Kadar air optimum(%)	96
Berat kering maks. (gr/cc)	14,6
Berat Jenis	2,61
Batas cair (%)	98
Batas plastis (%)	30,5
Indeks Plastisitas (%)	67,5
Fraksi lempung (%) ; <0,002 mm	>50
Fraksi kasar (%) ; >0,075mm	< 5
Bahan organik (%)	<4

Uji Tekan Bebas

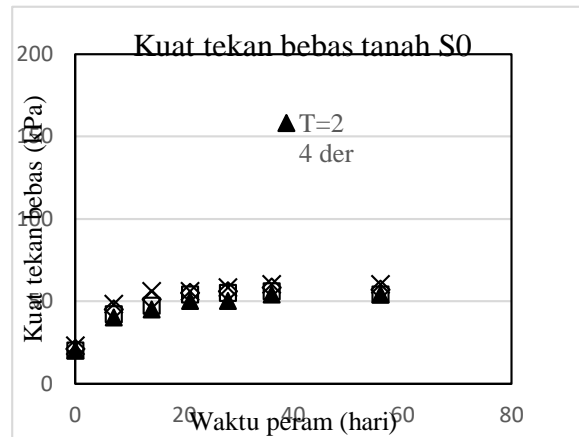
Sampel untuk pengujian tekan bebas, diameter 50mm dengan tinggi 100mm dicampur pada kadar air sekitar kadar air optimumnya (95% - 100%) dan diperam sampai dengan waktu 3 - 56 hari. Semen yang dipakai adalah portland semen biasa/*ordinary portland cement* (OPC) yang diperoleh dari toko bahan bangunan terdekat. Kadar semen dibuat bervariasi dari 3 sampai dengan 15% (3, 6, 9, 12, dan 15%) dengan toleransi 0,2%. Untuk mengetahui pengaruh temperatur, sampel dimasukkan kedalam oven dengan suhu dijaga antara 25 – 50°C dengan toleransi 2°C. Ringkasan skema pengujian tekan bebas dapat dilihat pada Tabel 2 Jenis semen yang digunakan adalah OPC, dengan waktu peram 7, 14, 21, 28, 36, 56, dan temperatur pemeraman 24, 31, 38, 50.

Tabel 2. Ringkasan pengujian tekan bebas

Sampel	Kadar air (%)	Prosen semen(%)
S ₀	95	0
S ₃	98	3,1
S ₆	96	5,9
S ₉	99	9,2
S ₁₂	95	11,9
S ₁₅	97	15,2

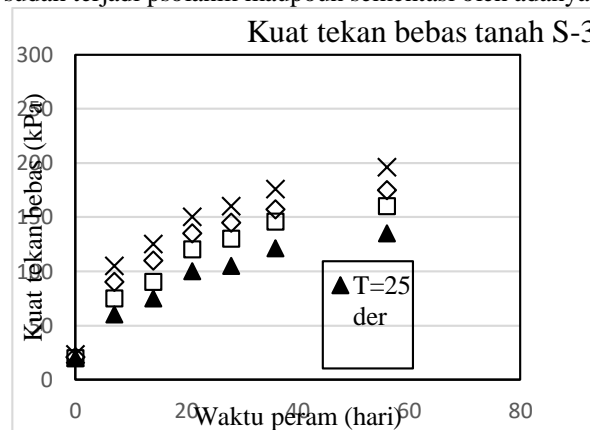
Pada penelitian ini, pengaruh proporsi semen terhadap berat kering tanah dan kadar air terhadap peningkatan kuat tekan bebas pada tanah lempung yang distabilisasi dengan semen pada temperatur tertentu (tetap) dengan berbagai waktu pemeraman sudah didiskusikan dengan intensif oleh beberapa peneliti terdahulu (Miura et al. 2001; Tan et al. 2002; Lee et al. 2005; Horpibulsuk et al. 2003, 2005, 2011; Hatmoko 2014, 2015). Pada bagian ini difokuskan pada pengaruh temperatur dan waktu pemeraman secara bersamaan pada kuat tekan bebas tanah lempung yang distabilisasi dengan semen. Gambar 1 menunjukkan harga kuat tekan bebas tanah dengan 6 kombinasi kadar semen dengan waktu peram dan temperatur pemeraman yang berbeda.

Untuk tanah S-0 (Gambar 1) dimana kadar semen 0% atau tanah asli tidak menunjukkan peningkatan kuat tekan bebas walaupun waktu dan temperatur pemeraman ditingkatkan. Kuat tekan bebas hanya dalam kisaran 20 s.d. 60 kPa. Hal tersebut menjelaskan bahwa tanah lempung yang tidak ditambahkan bahan tertentu memang tidak akan ada perubahan apapun terkait sifat-sifat mekanika tanah



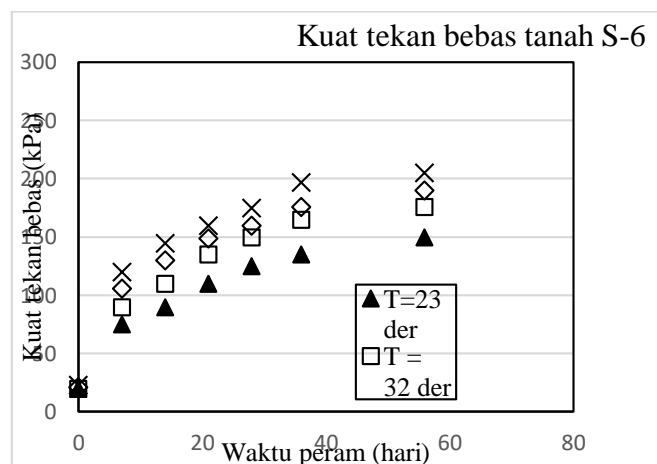
Gambar 1. Kuat tekan bebas vs. waktu dan temp. pemeraman S-0

Untuk tanah S-3 dimana kadar semen dalam kisaran 3% (Gambar 5.1b), kuat tekan bebas menunjukkan peningkatan dengan meningkatnya waktu dan temperatur pemeraman. Semakin lama waktu pemeraman dan semakin tinggi temperatur pemeraman, kuat tekan bebas meningkat walaupun belum cukup signifikan. Kuat tekan bebas mencapai harga sekitar 200 kPa pada waktu peram 56 hari dan temperatur pemeraman 48°C. Kenyataan tersebut menunjukkan bahwa sudah terjadi psolanik maupun sementasi oleh adanya semen pada tanah lempung.

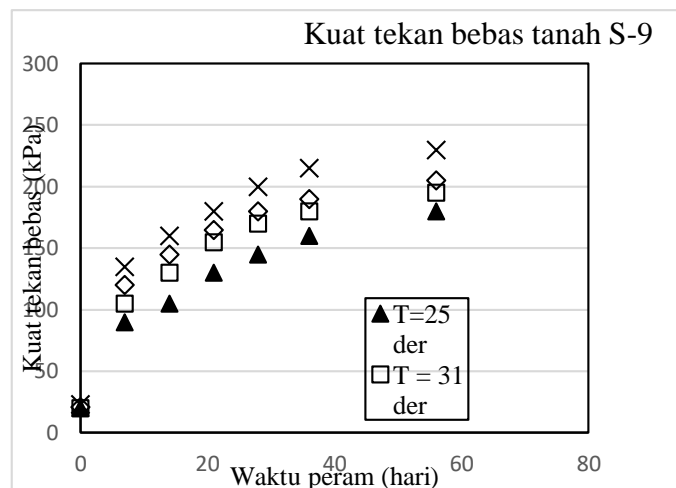


Gambar 2. Kuat Tek. Bebas vs. waktu dan Temp. pemeraman S-3

Jika dibandingkan dengan S-3, peningkatan kuat tekan bebas tanah S-6 tidak ada peningkatan yang cukup berarti, sebagai contoh pada waktu peram 56 hari dan temperatur pemeraman sekitar 50°C hanya meningkat dari 200 kPa menjadi 205 kPa. Namun pada tanah S-9 terlihat peningkatan yang cukup tinggi mencapai 260 kPa (Gambar 4).



Gambar 3. Kuat tekan bebas vs. waktu dan temperatur pemeraman S-6



Gambar 4. Kuat tekan bebas vs. waktu dan temperatur pemeraman S-9

Peningkatan kuat tekan bebas nampak cukup tajam pada S-9 dan S-12, sedangkan dari S-12 ke S-15 tidak terjadi peningkatan justru terjadi sedikit penurunan pada waktu pemeraman 56 hari dan suhu pemeraman 50°C. Namun demikian secara keseluruhan terjadi peningkatan kuat tekan bebas sejalan dengan peningkatan waktu dan suhu pemeraman.

Perilaku tekan bebas pada temperatur ruangan

Pada bagian ini mendiskusikan perilaku tekan bebas, atau peningkatan kuat tekan bebas untuk tanah lempung yang distabilisasi dengan semen pada suhu ruangan yang kemudian dipakai sebagai suhu referensi. Beberapa model dan persamaan sudah diformulasikan oleh beberapa peneliti mengenai perilaku tekan bebas pada suhu ruangan (Horpibulsuk et al. 2005; Chitambira 2004; Rahman et al. 2008; dan Marzano et al. 2009). Ditemukan bahwa persamaan yang diturunkan oleh Chitambira (2004) (persamaan 1) cukup untuk mendeskripsikan perilaku kuat tekan bebas lempung yang distabilisasi dengan semen pada suhu ruangan.

$$\ln[q_u(t, T_o)] = A \{1 - \exp[-B \ln(t)]\} \dots \dots \dots (1)$$

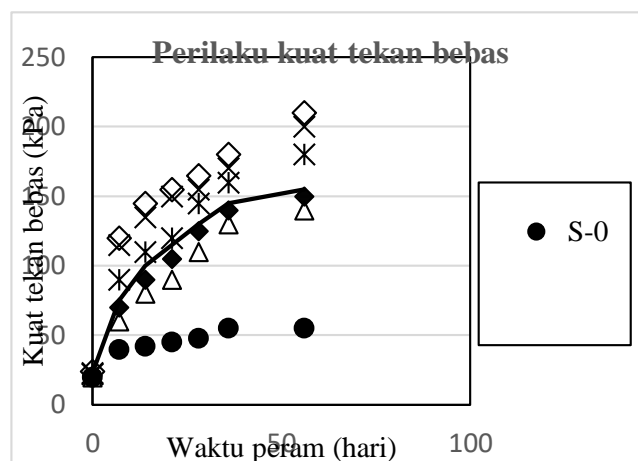
Dimana:

t = waktu pemeraman dalam hari

$q_u(t, T_o)$ = kuat tekan bebas pada waktu peram t, temperatur T_o

A dan B = konstan tanpa satuan

Menurut Chitambira (2004) dan Marzano (2009), konstanta A dan B tidak hanya tergantung pada tanah lempung dan semen saja, tetapi juga tergantung pada prosentase semen pada campuran lempung + semen.



Gambar 7. Kuat tekan bebas pada suhu ruangan

Gambar 5 menunjukkan perilaku kuat tekan bebas tanah lempung yang distabilisasi dengan semen. Hasil penelitian untuk tanah S-0, S-3, S-6, S-9, S-12 dan S-15 berperilaku mirip dengan hasil penelitian sebelumnya (Chitambira, 2004).

Pengaruh suhu pemeraman pada kuat tekan bebas

Gambar 1 sampai dengan Gambar 4 menunjukkan bahwa sebuah sampel tanah dengan waktu pemeraman yang sama menunjukkan peningkatan kuat tekan bebas pada temperatur pemeraman yang berbeda. Yang lebih penting adalah bahwa dari gambar tersebut terlihat bahwa pada waktu pemeraman 56 hari masih menunjukkan kecenderungan peningkatan, oleh sebab itu pada temperatur pemeraman yang lebih tinggi memberikan peningkatan kuat tekan bebas dalam jangka pendek melainkan pada jangka panjang. Perilaku tersebut berbeda dengan perilaku beton dan mortar, sebab hidrasi semen yang meningkatkan kekuatan beton oleh adanya sementasi hanya melibatkan semen dan air yang terjadi dalam jangka pendek. Sedangkan pada lempung-semen terjadi reaksi posolanik baik jangka pendek dan jangka panjang.

Semua tanah lempung yang distabilisasi dengan semen mengandung kalsium hidroksida, Ca(OH)_2 dengan jumlah yang jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan kandungan kalsium hidroksida yang diperoleh dari sementasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa kalsium hidroksida yang diturunkan dari hidrasi semen berperan didalam reaksi dengan partikel lempung yang disebut dengan reaksi posolanik (Baghdadi 1982; Chew et al. 2004). Pada temperatur tinggi, terjadi hidrasi semen dengan jumlah yang lebih tinggi pada waktu pemeraman yang sama, hal tersebut akan memproduksi Ca(OH)_2 dalam jumlah yang lebih banyak pada tanah lempung yang distabilisasi dengan semen. Oleh sebab itu kalsium hidroksida bebas akan diperoleh lebih banyak jika reaksi posolanik tidak terjadi. Namun demikian, Noble dan Plaster (1980) melaporkan bahwa jumlah Ca(OH)_2 bebas lebih banyak pada suhu 25°C dibanding pada suhu pemeraman 79°C pada waktu pemeraman yang sama. Hal tersebut dibaca dengan *X-ray defraction* pada waktu pemeraman 43 dan 100 hari. Dengan demikian Ca(OH)_2 hanya dikonsumsi jika reaksi posolanik terjadi, temuan tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pemeraman meningkatkan jumlah Ca(OH)_2 bebas yang mempercepat terjadinya reaksi posolanik yang pada akhirnya meningkatkan kuat geser lempung yang distabilisasi dengan semen. Namun demikian pertanyaan yang timbul adalah bagaimana jika kadar semen didalam tanah rendah yang berakibat pada suplai Ca(OH)_2 juga berkurang yang dalam jangka panjang reaksi posolanik akan terhenti?. Hal tersebut dapat diatasi oleh adanya disosiasi silikat dan aluminat yang memproduksi reaktan dalam jangka panjang, dengan kata lain, kuat geser tanah lempung yang distabilisasi dengan semen akan terus meningkat sebab jumlah Ca(OH)_2 bebas yang sama akan terjadi pada temperatur tinggi. Namun demikian, hal tersebut harus diapresiasi bahwa disosiasi silikat dan aluminat dari partikel lempung dan proses reaksi posolanik memerlukan derajat keasaman (pH) tinggi pada lingkungannya (Baghdadi 1982). Hal tersebut menyarankan bahwa sejumlah tertentu Ca(OH)_2 dikonsumsi pada reaksi posolanik, penurunan pH menyebabkan disosiasi silikat dan aluminat pada partikel tanah lempung terhenti, yang berakibat pada terhentinya reaksi posolanik. Disamping itu, pH yang Ca(OH)_2 untuk berpartisipasi didalam reaksi posolanik.

Tanah lempung yang distabilisasi dengan semen, kuat tekan bebas meningkat pada waktu pemeraman singkat ataupun panjang dengan temperatur pemeraman tinggi dapat dijelaskan sebagai berikut. *Pertama*, pada waktu peram tertentu, peningkatan kuat tekan oleh meningkatnya temperatur pemeraman disebabkan tidak hanya oleh tingginya hidrasi semen namun juga oleh terjadinya reaksi posolanik yang intensif. *Kedua*, tanah lempung yang distabilisasi dengan semen yang diperam pada temperatur tinggi kuat tekan bebasnya meningkat dengan menghasilkan unsur-unsur posolanik. Perlu diperhatikan juga bahwa peningkatan kuat tekan bebas oleh tingginya temperatur pemeraman tidak berlaku pada tanah yang mengandung unsur organik tinggi, sebagai contoh tanah gambut (*peat*). Hernandez - Martinez (2006) menemukan bahwa kuat tekan berbanding terbalik dengan temperatur pemeraman pada tanah gambut yang distabilisasi dengan semen. Temuan tersebut berkebalikan dengan perilaku tanah lempung (inorganic) yang distabilisasi dengan semen pada studi ini lempung Wates dengan kandungan organik (Tabel 1). Hal tersebut memberi sinyal bahwa kandungan organik pada tanah sangat berpengaruh pada kuat tekan bebas tanah yang distabilisasi dengan semen. Fenomena tersebut dapat dijelaskan bahwa asam yang terkandung pada unsur organik bereaksi dengan Ca(OH)_2 yang diproduksi pada hidrasi semen. Pada temperatur tinggi, reaksi asam dengan Ca(OH)_2 menetralkan reaksi posolanik yang terjadi.

4. KESIMPULAN

Serangkaian eksperimen dan studi pustaka berbagai referensi terkait dengan stabilisasi tanah lempung maupun tanah granular dengan berbagai waktu pemeraman dan suhu pemeraman yang berbeda sudah dilakukan. Pengujian mekanika tanah yang dilakukan adalah pengujian tekan bebas sebagai satu-satunya parameter pengukuran kuat tekan/geser tanah lempung yang distabilisasi dengan semen. Oleh sebab itu berikut adalah beberapa kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini.

- [1] Kuat tekan bebas tanah lempung anorganik yang distabilisasi dengan semen meningkat dengan bertambahnya suhu pemeraman pada waktu pemeraman yang sama.
- [2] Pada waktu pemeraman yang sama, peningkatan kuat tekan bebas oleh meningkatnya temperatur pemeraman tidak hanya disebabkan oleh tingginya derajat sementasi, tetapi juga oleh reaksi posolanik.
- [3] Tanah lempung yang distabilisasi dengan semen pada temperatur tinggi meningkatkan kuat tekan bebas dengan memproduksi unsur-unsur posolanik.
- [4] Tidak seperti pada tanah lempung inorganik, tanah organik yang distabilisasi dengan semen kuat tekan nya menurun dengan meningkatnya suhu pemeraman.
- [5] Pada kandungan semen rendah, reaksi posolanik tetap berlangsung oleh adanya disosiasi silikat dan aluminat pada temperatur tinggi.
- [6] Kadar air pada saat pencampuran berpengaruh pada hasil kuat tekan bebas walaupun waktu dan suhu pemeraman sama.

UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan banyak terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Universitas Yogyakarta atas biaya yang diberikan untuk penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Dekan Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta atas fasilitas Laboratorium yang disediakan untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bergado, D.T., Ruenkairergsa, T., Taesiri, Y., and Ballasubramaniam, A.S.1999. Soft ground improvement in lowland and other environment. *Ground Improvement Journal*, 3(3), 145 - 162
- Brooms, B.B. 1984. Deep soil mixing to reduce embankment-settlement. *Proceeding Seminar of Soil Improvement and Construction Techniques in Soft Ground*, Nanyang Technological Institutes, Singapore.
- Brooms, B.B.1986. Stabilization of Soft Clay with Lime and Cement Columns in South East Asia. *Applied Research Project RP10/83*, Nanyang Technological Institutes, Singapore.
- Bowles.J.E. 1990. Engineering Properties of Soils and Their Measurement. *Mc. GrawHill Book Company*, New York
- Chew, S.H., Kamruzzaman, A.H.M., and Lee, F.H. 2004. Physico chemical and engineering behavior of cement treated clays. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*.10.(106)/(ASCE)1090-0241(2004)130:7(696), 696-706
- Chitambira, B. 2004. Accelerated aging of cemenet stabilized contaminated soils with elevated temperature. Ph.D thesis, the University of Cambridge, Cambridge, U.K.
- Chitambira, B., Al-Tabaa, A., Perera, A.S.R., and Yu, X.D. 2007. The activation energy of stabilized contaminatedsoils. *Journal of Hazards Matter*, 141(2), 422 – 429.
- Chiu, C.I., Zhu, W., and Zhang, C.L. 2008. Yielding and shear behavior of cement-treated dredged materials. *Engineering Geology.*, 103(1), 1 - 12
- Clough, C.R.I 1981. Cemented sands under static loading. *Journal of Geotechnical Engineering* No. 107 vol. 6, pp. 799-817.
- Consoli, N.C. 2001. Behavior of compacted soil-fly ash-cement mixture. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.127, No.9
- Dano, C. 2004. Engineering Properties of Grouted Sands. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.130, No.3, March 2004.
- Dermatas, D., Dutko, P., Balorda-Barone, J., and Moon, D.H. 2003. Evaluation s of engineering properties of cement treated Hudson-River dredged sediments for reuse of fill materials. *Journal of Marine Environmental Engineering.*, 7(2), 101 - 123
- Dupas, J., and Pecker, A. 1979. Static properties of sand cements. *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 105(3), 419 – 436.
- Hatmoko, J.T. 2005. Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansive dengan Abu ampas Tebu. *Laporan Penelitian*, Lembaga Penelitian Universitas Atma Jaya Yogyakarta
- Hatmoko, J.T. dan Lulie, Y. 2007. Perilaku Tanah Pasir tersementasi tiruan di dalam alat uji Triaksial. *Laporan Penelitian*, Lembaga Penelitian Universitas Atma Jaya Yogyakarta
- Hatmoko, J.T., dan Suryadharma, H.Y. 2014. Efek suhu pembakaran abu ampas tebu pada kuat tekan bebas tanah ekspansif yang distabilisasi dengan kapur dan abu ampas tebu. *Laporan study*. LPPM Universitas Atma Jaya Yogyakarta
- Hoshiya, M. and Mandal, J.N.1984. Metallic Powders in Reinforced Earth. *J. of Geotechnical Engineering*, Vol. 110, No. 10, October 1984, ASCE, pp. 1507-1511

- Holtz, D.M. 1991. Lime Stabilisation on Silty-clay. *Journal of Geotechnical Engineering*.
- Horpibulsuk, S., Miura, N., and Nagaraj, T.S. 2003. Assessment of strength development in cement-admixed high water content clays with Abram's Law as a basis. *Geotechnique*, 53(4), 439-444.
- Horpibulsuk, S., Miura, N., and Nagaraj, T.S. 2005. Clay- water/cement ratio identity for cement admixed soft clays. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 10.1061/(ASCE)1090-0241(2005)131:2(187), 187-192
- Horpibulsuk, S., Rachan, R., and Suddeepong, A. 2011. Assessment of strength development in blended cement admixed Bangkok clay. *Construction Building Materials*, 25(4), 1521- 1531
- Kamon, M., and Bergado, D.T. 1991. Ground Improvement Techniques. *Proceeding of 9th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Bangkok, Thailand, Vol. 2, 526 - 534
- Kezdi, A. (1979). Stabilized Earth Roads. *Elsevier Scientific Publishing Company*, New York.
- Kitazume, M., and Satoh, T. 2005. Quality control in Central Japan International Airport construction. *Proceeding of International Civil Engineering Ground Improvement.*, 9(2), 59 - 66
- Kokusho, T. 2004. Undrained Shear Strength of Granular Soils with Different Particle Gradation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.130, No. 6
- Kasama, K., Ochiai, H., and Yasufuku, N. 2000. On the Stress-Strain Behaviour of lightly Cemented Clay based on extended critical-state concept. *Soils and Foundation*, vol. 40, No. 5, pp. 37 - 47.
- Lee, F.H., Lee, Y., Chew, S.H., and Young, K.Y. 2005. "Strength and modulus of marine clay-cement mixing. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*" 10.1061/(ASCE)1090-0241(2005)131:2(178), 178-186
- Leroueil, S. and Vaughan, P.R. 1990. The general and congruent effects of structure in natural soil and weak rocks. *Geotechnique, London* Vol.40, no.3 pp. 467-488.
- Lorenzo, A.G, and Bergado, T.D. 2004. Fundamental parameters of Cement Admixed Clay. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.130, No.10, October 2004.
- Lu, Y.T., Tan, T.S., Phoon, K.K. 2011. "Curing temperature on strength development of cement treated Singapore marine clay: A discussion on Arrhenius equation based maturity model and its application." *Proceeding Advances in Ground Technology and Geo-Information*, Research Publishing Services, Singapore, 261-269.
- Marzano, I.P., Al-Tabbaa, A., and Grisolia, M. 2009. Influence of curing temperature on the strength of cement-stabilized artificial clay. *Proc., 2nd Int. Workshop on Geotechnics of Soft Soils- Focused on Groud Improvement*, Taylor and Francis, London, 257 - 262.
- Miller, A. and Roycroft, A. 2004. Compaction Grouting Test Program for Liquefaction Control. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.130, No.4
- Miura, N., Horpibulsuk, S., and Nagaraj, T.S. 2001. Engineering behavior of cement stabilized clay at high water content. *Soils and Foundation* 41(5), 33-45
- Morohoshi, K. 2010. Design and long-term monitoring of Tokyo International Airport extension project constructed on super-soft ground. *Geotechnique – Geology Engineering.*, 28(3), 223 - 232
- Neville, A.M. 1996. Properties of Concrete, 4th edition, *John Wiley and Sons*, New York.
- Noble, D.F. , and Plaster, R.W. 1980. Reaction in Portland Cement – clay mixtures. *Rep. No. VHRC 70-R13*, Virginia Highway Research Council, Charlottesville, PA
- Petchgate, K., Sukmongkol, W., and Vottipreux, P. 2001. Effect of height and diameter on the strength of cement stabilized of soft Bangkok clay. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 31(3), 227 - 239.
- Rad, N.S., and Clough, G.W. 1982. The influence of cementation on the static and dynamic behaviour of sand. *Geotechnical Testing Journal*, pp. 117 - 125
- Schaefer. V.R., Abramson, L.W., Drumheller, J.C., and Shrap, K.D. 1997. Ground improvement, ground reinforcement and ground treatment. *Geotechnical Special Publication No. 69*, ASCE New York.
- Schnaid, F., Prietto, D.M. 2001. Characteristics of Cemented Sand in Triaxial Compression *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.127, No.10
- Tan, T.S., Goh, T.L., and Young, K.Y. 2012. Properties of Singapore Marine clays improved by cement mixing. *Geotechnical Testing Journal*. 25(4), hlm. 422-433.
- Tang, Y.X., Miyazaki, Y., and Tsuchida, T. 2001. Practice of reused dredging by cement treatment. *Soils and Foundations* 41(5), 129-143
- Uddin, K., Ballasubramaniam, A.S., Bergado, D.T. 1997. Engineering Behavior of cement-treated Bangkok soft Clay. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 28(1), hlm. 89 - 119.
- Vardar, M., Huvaz, O. 2001. Assessing the Efficiency and Applicability of Contact Grouting in The Istanbul Subway. *Bull Engineering Geology Environment Journal*, Vol.60, hlm.13-17, 2001.
- Venda Oliveira, J.P., Correia, A.S., Lopes, J.S. 2014. Effect of Organic Matter Content and Binder Quality on the Uniaxial Creep Behavior of an Artificially Stabilized Soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, DOI : 10.1061/(ASCE) GT.1943-5606.0001158, ASCE 2014

- Watabe, Y., Tsuchida, T., Furuno, T., and Yuassa, H. 2007. Mechanical characteristics of cement treated dredge soil utilized for waste reclamation landfill. *Proceeding of Coastal geotechnical engineering in practice*, 739 – 745, Bangkok
- Wong. I.H., and Poh.T.Y. 2000. Effects of Jet Grouting on Adjacent Ground and Structures. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.126, No.3
- Yadu, L., Triphati, R.K.2011. Comparison of fly ash and rice husk ash stabilized black cotton soil *International Journal of Earth Science and Engineering*, Vo. 4, No 06 , hlm. 42 – 45.
- Yin, J.H., 2007. “Stress-strain characteristics of soft Hongkong marine deposits without or with cement treatment”, *Low Land Technology International Simposium*, 3(1), 1 -13.
- Yun, J.M., Song, Y.S., Lee, J.H., and Kim, T.H. 2006. Strength characteristic of cement-stabilized surface layer in dredged and reclaimed clay, Korea. *Marine Geotechnology*. 24(1), 29-45

APLIKASI VEKTOR BEBAN PENENTU LOKASI KERUSAKAN PADA STRUKTUR PLANE STRESS

Richard Frans^{1,*}, Yoyong Arfiadi²

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Makassar
Jl. Tanjung Alang 23, Makassar

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jl. Babarsari 44, Yogyakarta

*Corresponding e-mail: richardfrans.rf@gmail.com

ABSTRAK

Deteksi kerusakan struktur pada dunia ketekniksipil sangat dibutuhkan. Hal ini penting karenadengan adanya deteksi kerusakan struktur yang dini dapat meminimalkan biaya perawatan (maintenance) serta dapat menghindari terjadinya keruntuhan secara tiba-tiba dengan adanya monitoring rutin. Ada empat tingkatan dalam deteksi kerusakan struktur, antara lain: (1) mendeteksi apakah ada kerusakan elemen pada struktur, (2) menentukan lokasi elemen pada struktur, (3) menentukan lokasi serta memprediksi reduksi kekuatan/kekakuan pada elemen yang mengalami kerusakan, (4) memprediksi sisa umuryang dapat dicapai oleh elemen yang mengalami kerusakan. Salah satu teknik deteksi kerusakan struktur yang mempunyai hasil yang cukup baik dan akurat adalah metode Vektor Beban Penentu Lokasi Kerusakan (VBPLK). Metode ini masuk dalam kelompokmetode deteksi kerusakan struktur tingkat dua. Dalam penelitian ini ditinjau sejauh mana metode VBPLK mampu mendeteksi secara akurat pada struktur plane stress. Terdapat tiga skenario kerusakan yang dibuat untuk mengetahui keakuratan dari metode ini. Dari ketiga skenario yang ada, metode VBPLK dapat mendeteksi lokasikerusakan dengan cukup akurat.

Kata kunci: deteksi kerusakan, vektor beban penentu lokasi kerusakan, struktur plane stress

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Vektor Beban Penentu Lokasi Kerusakan (VBPLK) adalah salah satu metode deteksi kerusakan struktur tingkat dua. Metode ini pertama kali diusulkan oleh Bernal (2002). Pada penelitian sebelumnya, metode ini telah diaplikasikan untuk berbagai macam tipe struktur, antara lain struktur balok, struktur portal bidang, struktur bangunan geser (*shear building*), dan struktur rangka batang bidang (Frans dan Arfiadi, 2017). Hasil yang didapatkan adalah metode VBPLK dapat mendeteksi elemen yang rusak secara akurat. Oleh karena itu, pada penelitian ini, metode VBPLK akan digunakan untuk mengetahui kerusakan pada tipe struktur *plane stress*. Untuk mengetahui keakuratan dari metode ini, ditinjau tiga skenario kerusakan, yaitu kerusakan tunggal pada satu elemen saja, kerusakan ganda (2 elemen yang mengalami kerusakan), serta kerusakan majemuk (4 elemen yang mengalami kerusakan). Struktur *plane stress* yang digunakan adalah struktur tipe kantilever. Analisis struktur dan algoritma deteksi kerusakan struktur dengan metode VBPLK ini dilakukan dengan menggunakan bantuan *software MATLAB*.

1.2. Tinjauan Pustaka

1.2.1. Vektor Beban Penentu Lokasi Kerusakan (VBPLK)

VBPLK adalah salah satu metode deteksi kerusakan struktur tingkat dua, dimana metode ini digunakan untuk mendeteksi lokasi kerusakan suatu elemen dari struktur. Metode ini pertama kali diusulkan oleh Bernal (2002). Terdapat tiga langkah untuk menerapkan metode ini, yaitu:

1. Menghitung nilai perubahan fleksibilitas dari struktur sebelum dan sesudah terjadi kerusakan berdasarkan persamaan (1),

$$\Delta F = F_U - F_D \quad (1)$$

dimana, ΔF adalah perubahan matriks fleksibilitas, F_U adalah matriks fleksibilitas dari struktur pada kondisi sebelum terjadi kerusakan, F_D adalah matriks fleksibilitas dari struktur saat setelah mengalami kerusakan.

2. Menghitung *singular value decomposition* dari perubahan matriks fleksibilitas (ΔF) sesuai dengan persamaan (2),

$$\Delta F = U \begin{bmatrix} s_1 & 0 \\ 0 & s_2 \end{bmatrix} V^T \quad (2)$$

dengan s_2 adalah nilai singular yang sangat kecil, untuk kondisi ideal nilai s_2 mengandung nilai nol dan VBPLK adalah vektor V yang berhubungan dengan kondisi *null space*. VBPLK didapatkan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Menghitung tegangan pada struktur dalam kondisi sebelum terjadi kerusakan dengan menggunakan vektor V sebagai vektor beban.
- Menghitung tegangan normal pada setiap elemen.
- Menentukan nilai maksimum dari tegangan karakteristik, c_j .
- Menghitung nilai indeks svn untuk setiap vektor beban V dengan menggunakan persamaan (3), dengan

$$svn_j = \sqrt{\frac{s_j c_j^2}{s_q c_q^2}} \quad (3)$$

- Vektor beban (V) yang memiliki nilai $svn \leq 0,20$ dapat dikategorikan sebagai VBPLK.

$$s_q c_q^2 = \max(s_j c_j^2) \quad \text{for } j = 1 : m \quad (4)$$

- Menghitung nilai tegangan normalisasi masing-masing elemen dengan persamaan (5),

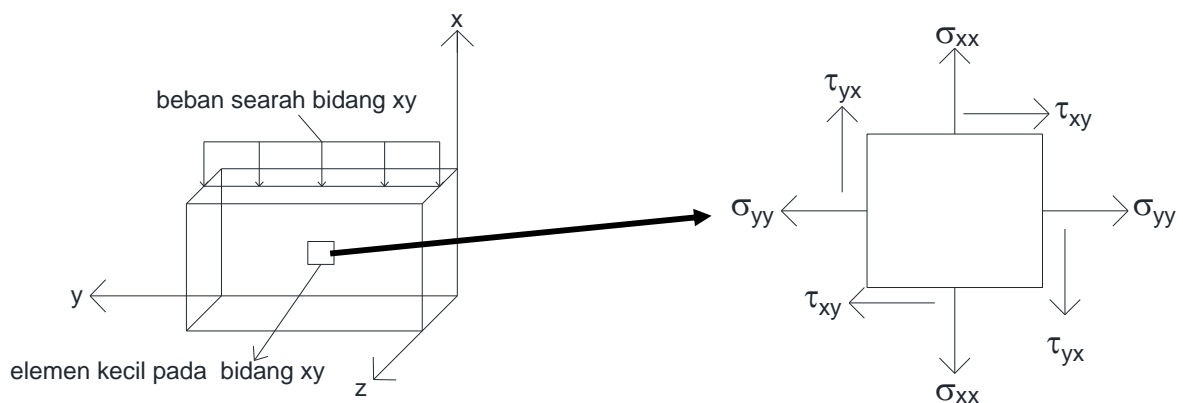
$$nsi_i = \frac{\sigma_i}{\sigma_{max}} \quad (5)$$

dengan nsi_i adalah tegangan normalisasi untuk elemen i , σ_i adalah tegangan yang ditinjau pada elemen i , σ_{max} adalah tegangan maksimum dari seluruh elemen pada struktur tersebut.

Jika nilai nsi_i mendekati nilai nol, maka elemen tersebut dapat digolongkan sebagai elemen yang mengalami kerusakan.

1.2.2. Struktur Plane Stress

Struktur *plane stress* adalah struktur dimana komponen tegangan hanya terjadi pada satu bidang saja. Biasanya hal tersebut dapat dijumpai pada struktur-struktur yang tipis dan beban hanya bekerja pada bidang tersebut saja, seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Komponen tegangan-tegangan yang bekerja pada *plane stress*

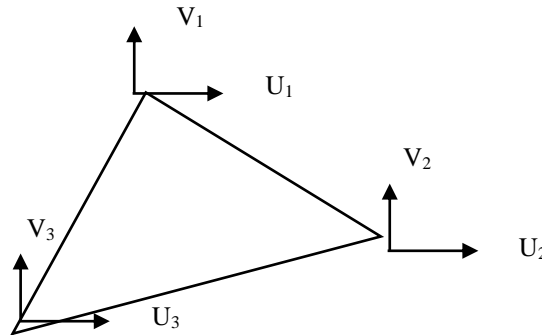
Jika tensor tegangan umum dituliskan seperti pada persamaan (6):

$$[\sigma] = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \quad (6)$$

maka untuk kondisi *plane stress*, nilai σ_{zz} , τ_{zx} , τ_{xz} , τ_{yz} , τ_{zy} akan mempunyai nilai sama dengan nol (Save, Massonet, Saxce, 1997). Hal ini berarti tensor tegangan pada persamaan (6) dapat ditulis menjadi persamaan (7):

$$[\sigma] = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} \end{bmatrix} \quad (7)$$

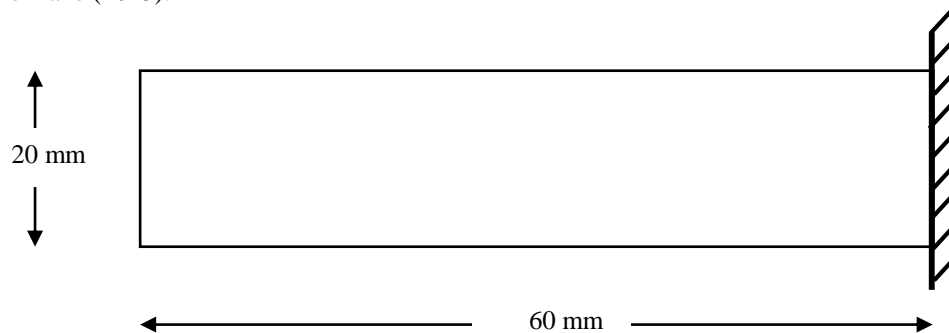
Pada penelitian ini *shape function* yang digunakan adalah *shape function* untuk *linear triangular element*. Dalam hal ini pendekatan yang digunakan adalah *constant strain triangle (CST)*, dimana setiap elemen mempunyai tiga *nodes* dan mempunyai dua derajat kebebasan di setiap *node*nya seperti yang terlihat pada Gambar 2. Untuk memudahkan perhitungan analisis struktur, telah dibuat fungsi-fungsi dalam program MATLAB untuk mendapatkan nilai tegangan yang terjadi pada tiap elemen dari struktur *plane stress*.



Gambar 2. Linier triangular element dengan pendekatan CST

1.3. Metodologi Penelitian

Ditinjau suatu struktur *plane stress* dengan ukuran panjang 60 mm dan lebar 20 mm dengan kondisi perletakan ujung dianggap jepit (kantilever) seperti pada Gambar 3. Contoh struktur diambil dari contoh struktur *plane stress* dalam Khennane (2013).

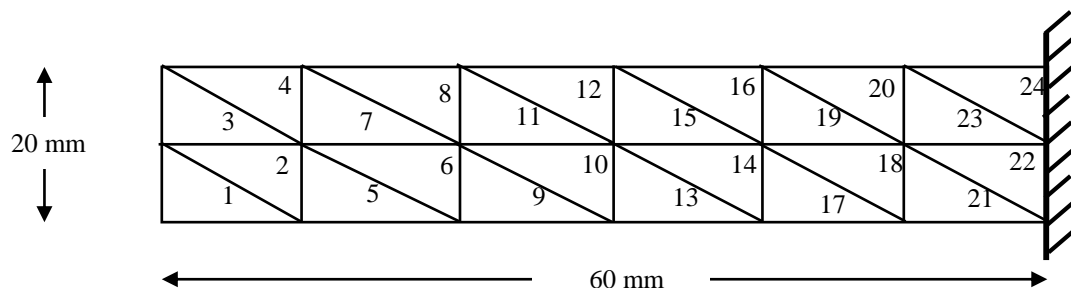


Gambar 3. Struktur *plane stress* yang ditinjau

Tebal struktur *plane stress* adalah 5 mm dengan modulus elastisitas adalah 200.000 MPa, rasio Poisson adalah 0,3. Struktur *plane stress* dibagi menjadi 24 elemen seperti yang terlihat pada Gambar 4.

Terdapat tiga skenario kerusakan yang ditinjau:

1. Skenario pertama adalah skenario kerusakan tunggal pada elemen 17.
2. Skenario kedua adalah skenario kerusakan ganda dengan dua kerusakan elemen yaitu elemen 13 dan 18.
3. Skenario ketiga adalah skenario kerusakan majemuk dengan empat kerusakan elemen yaitu elemen 2, 11, 15, dan 19.



Gambar 4. Elemen *meshing*

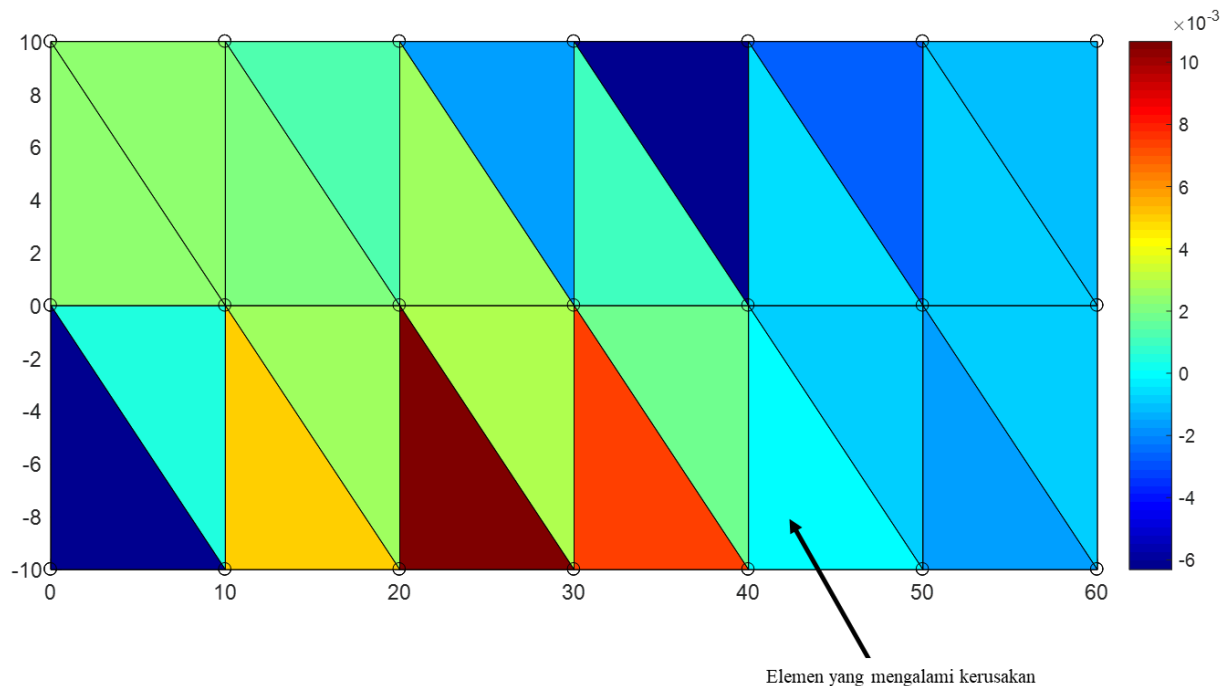
2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Skenario pertama: kerusakan tunggal pada elemen 17:

Tabel 1 menunjukkan hasil nilai tegangan pada semua elemen untuk skenario pertama. Gambar 5 menunjukkan kontur tegangan yang terjadi setelah VBPLK diaplikasikan pada struktur yang belum mengalami kerusakan. Berdasarkan pada Tabel 1 dan Gambar 5, dapat terlihat bahwa elemen 17 mempunyai nilai tegangan yang mendekati nol untuk semua komponen tegangan dimana nilai $\sigma_{xx} = -2,77 \cdot 10^{-16}$, $\sigma_{yy} = -5,24 \cdot 10^{-16}$, $\tau_{xy} = -7,16 \cdot 10^{-17}$. Hal ini berarti bahwa elemen 17 dapat dikategorikan sebagai elemen yang mengalami kerusakan.

Tabel 1. Nilai tegangan pada semua elemen untuk skenario kerusakan pertama

Elemen	σ_{xx}	σ_{yy}	τ_{xy}
1	-0,006307861	0,004263312	0,002073898
2	0,000342148	-2,74E-05	0,002709085
3	0,002256049	0,006352238	0,001666543
4	0,002309127	0,002361369	0,000606368
5	0,004873367	0,001331934	-0,007898502
6	0,002701816	0,004821474	-0,007543659
7	0,001929629	0,002247519	-0,006867451
8	0,001132571	9,34E-05	-0,00766199
9	0,010659024	0,007208637	-0,003774783
10	0,002778498	0,000812794	-0,007618421
11	0,002704129	0,000564899	-0,004707235
12	-0,001633505	-0,00302241	-0,006840874
13	0,007405569	0,002200916	0,000403226
14	0,001800283	0,000540085	-0,001553036
15	0,00096544	-0,002242727	0,002067994
16	-0,006192464	-5,92E-05	0,000728732
17	-2,77E-16	-5,24E-16	-7,16E-17
18	-0,00091575	0,000365222	-0,000148219
19	-0,000533804	0,001638375	0,000862181
20	-0,002784172	-0,000693088	-0,000371389
21	-0,001585489	0,000164301	0,000902684
22	-0,000899657	-0,000269897	0,000970431
23	-0,00085279	-0,000113673	0,001070439
24	-0,001185393	-0,000355618	0,000915753



Gambar 5. Kontur tegangan setelah VBPLK diaplikasikan untuk skenario kerusakan pertama

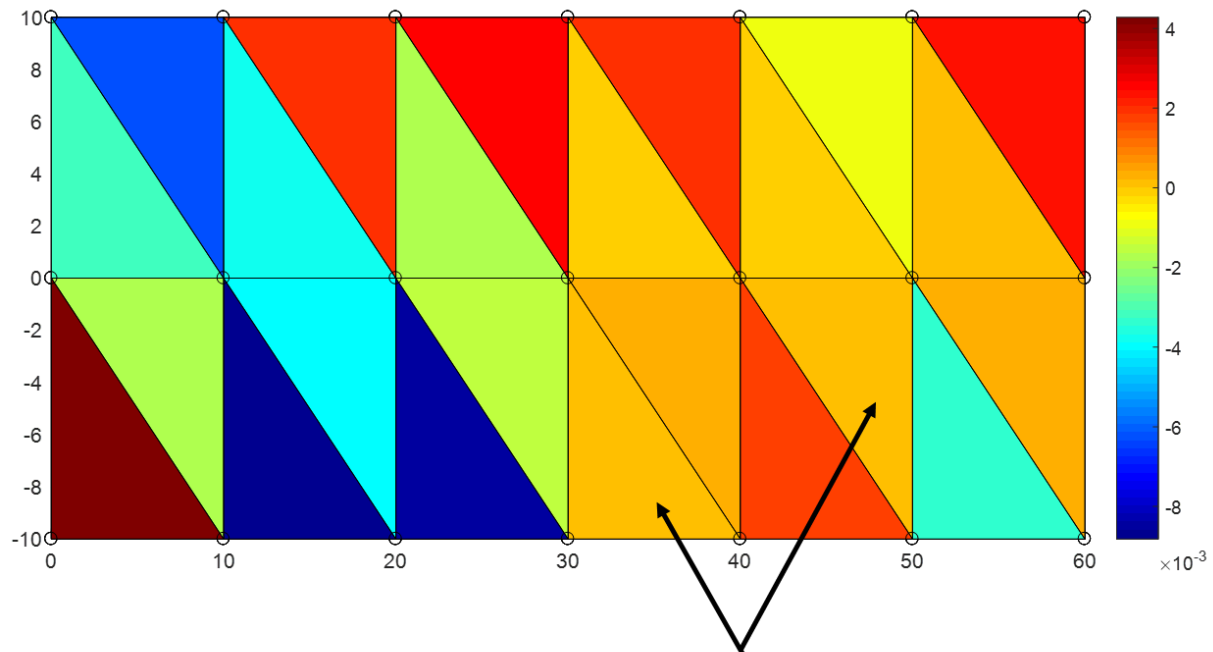
Skenario kedua: kerusakan ganda (pada elemen 13 dan 18):

Tabel 2 menunjukkan hasil nilai tegangan pada semua elemen untuk skenario pertama. Gambar 6 menunjukkan kontur tegangan yang terjadi setelah VBPLK diaplikasikan pada struktur yang belum mengalami kerusakan. Berdasarkan pada Tabel 2 dan Gambar 6, dapat terlihat bahwa elemen 13 dan 18 mempunyai nilai tegangan yang mendekati nol untuk semua komponen tegangan dimana nilai tegangan untuk elemen 13 adalah $\sigma_{xx} = -3,23 \cdot 10^{-16}$, $\sigma_{yy} = -3,34 \cdot 10^{-16}$, $\tau_{xy} = -2,76 \cdot 10^{-17}$, sedangkan untuk elemen 18, nilai masing-masing tegangannya adalah $\sigma_{xx} = -3,14 \cdot 10^{-16}$, $\sigma_{yy} = -3,87 \cdot 10^{-16}$, $\tau_{xy} = -2,5 \cdot 10^{-17}$. Oleh karena itu, elemen 13 dan 18 dapat dikategorikan sebagai elemen-elemen yang mengalami kerusakan.

Tabel 2. Nilai tegangan pada semua elemen untuk skenario kerusakan kedua

Elemen	σ_{xx}	σ_{yy}	τ_{xy}
1	0,004277065	0,001112058	0,002910945
2	-0,001822888	5,55E-03	0,002462242
3	-0,003225212	0,000870988	0,004231724
4	-0,006253835	0,001374855	0,003551982
5	-0,008816012	0,003447462	0,00993593
6	-0,003915869	0,001433396	0,010712951
7	-0,003703941	0,002139824	0,009142376
8	0,001839143	4,63E-04	0,010183166
9	-0,008525958	5,04E-05	0,00114037
10	-0,001636525	-0,000490957	0,002849475
11	-0,001665936	-0,000588993	0,000892147
12	0,002533199	-0,001035397	0,001902498
13	3,23E-16	-3,34E-16	2,76E-16
14	0,000200461	-0,000594387	-0,000106057
15	-0,000175637	-0,001848048	-0,000542509
16	0,001865401	2,19E-04	0,000563472
17	1,63E-03	-1,65E-04	3,95E-04
18	-3,14E-16	-3,87E-16	-2,50E-16

19	-0,000112344	-0,000374479	0,000757214
20	-0,000877211	-0,00111464	0,000352014
21	-0,003325667	-0,0009977	0,00320426
22	0,00030628	9,19E-05	0,004475441
23	2,56E-05	-0,000843805	0,003752698
24	0,002371262	0,000711379	0,004802933



Elemen yang mengalami kerusakan

Gambar 6. Kontur tegangan setelah VBPLK diaplikasikan untuk skenario kerusakan kedua

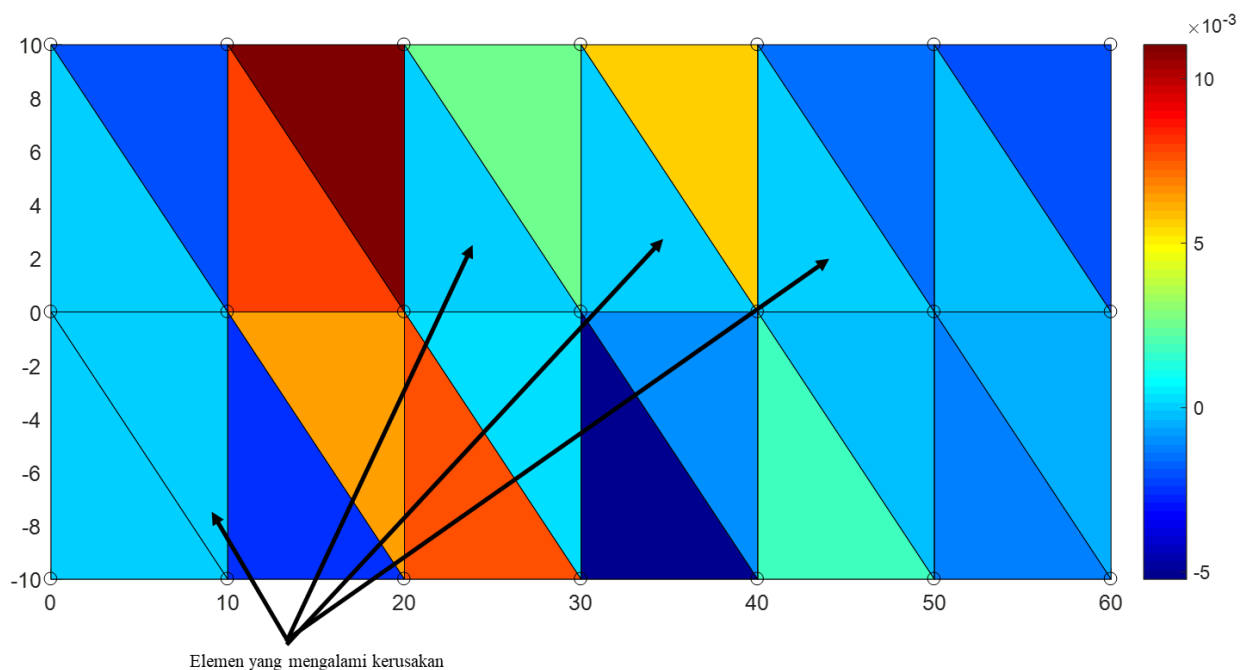
Skenario ketiga: kerusakan majemuk (pada elemen 2, 11, 15, dan 19):

Tabel 3 menunjukkan hasil nilai tegangan pada semua elemen untuk skenario pertama. Gambar 7 menunjukkan kontur tegangan yang terjadi setelah VBPLK diaplikasikan pada struktur yang belum mengalami kerusakan. Berdasarkan pada Tabel 3 dan Gambar 7, dapat terlihat bahwa elemen 2, 11, 15, 19 mempunyai nilai tegangan yang mendekati nol untuk semua komponen tegangan dimana nilai tegangan untuk elemen 2 adalah $\sigma_{xx} = -3,03 \cdot 10^{-16}$, $\sigma_{yy} = -2,7 \cdot 10^{-16}$, $\tau_{xy} = -7,97 \cdot 10^{-17}$, sedangkan untuk elemen 11, nilai masing-masing tegangannya adalah $\sigma_{xx} = -2,12 \cdot 10^{-16}$, $\sigma_{yy} = -2,78 \cdot 10^{-16}$, $\tau_{xy} = -2,05 \cdot 10^{-17}$ dan untuk nilai tegangan elemen 15 dan elemen 19 adalah masing-masing $\sigma_{xx} = 1,12 \cdot 10^{-17}$, $\sigma_{yy} = -7,01 \cdot 10^{-17}$, $\tau_{xy} = 2,05 \cdot 10^{-17}$ dan $\sigma_{xx} = -8,79 \cdot 10^{-17}$, $\sigma_{yy} = -2,79 \cdot 10^{-16}$, $\tau_{xy} = -4,68 \cdot 10^{-17}$. Oleh karena itu, elemen 2, 11, 15, dan 19 dapat dikategorikan sebagai elemen-elemen yang mengalami kerusakan.

Tabel 3. Nilai tegangan pada semua elemen untuk skenario kerusakan ketiga

Elemen	σ_{xx}	σ_{yy}	τ_{xy}
1	2.10E-05	-9.92E-05	-2.10E-05
2	3.03E-16	-2.70E-16	7.97E-17
3	8.18E-05	0.00027277	-0.000302678
4	-0.002158041	8.13E-05	-0.000957272
5	-0.002669423	-0.000800827	-0.001191744
6	0.006277559	-0.002274736	0.000820237
7	0.007888563	0.003095277	-0.00393305
8	0.011030526	3.31E-03	-0.003029554
9	0.007680861	-1.85E-03	0.001556717
10	0.000354489	0.001181628	0.000401448

11	2.12E-16	2.78E-16	-5.27E-17
12	0.002562856	0.000768857	0.000897
13	-5.22E-03	-4.90E-04	1.01E-03
14	-0.0009326	-0.003108665	0.001454752
15	1.12E-17	-7.01E-17	2.05E-17
16	0.005678134	1.70E-03	0.001987347
17	1.72E-03	-2.31E-03	-1.44E-03
18	-1.54E-04	-5.14E-04	-1.46E-03
19	-8.79E-17	-2.79E-16	-4.68E-17
20	-0.001660644	0.000277056	-0.000372504
21	-0.001401091	-0.000887782	-0.000318565
22	-0.000484128	-1.45E-04	0.000128225
23	-2.29E-04	0.000706684	0.000650952
24	-0.001977637	-0.000593291	-0.000169948



Gambar 7. Kontur tegangan setelah VBPLK diaplikasikan untuk skenario kerusakan ketiga

3. KESIMPULAN

Penelitian ini mengaplikasikan metode VBPLK untuk struktur *plane stress*, dimana struktur yang ditinjau adalah struktur kantilever yang dibagi menjadi 24 elemen. Tiga skenario kerusakan digunakan untuk mengetahui sejauh mana keakuratan dari metode VBPLK dapat mendeteksi kerusakan struktur *plane stress*. Berdasarkan hasil yang didapatkan, metode VBPLK mampu mendeteksi dengan akurat lokasi dari elemen struktur yang mengalami kerusakan untuk semua skenario kerusakan baik untuk kerusakan tunggal, kerusakan ganda, maupun kerusakan majemuk. Hal ini ditandai dengan nilai tegangan elemen-elemen yang mengalami kerusakan mendekati nol atau mempunyai nilai tegangan yang sangat kecil. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa metode VBPLK ini cocok digunakan untuk mendeteksi struktur *plane stress*, karena dapat mendeteksi lokasi elemen yang rusak dengan akurat.

PUSTAKA

- Bernal, D. 2000. Damage localization using load vectors. COST F3, 223-231, Madrid, Spain.
- Frans, R. dan Arfiadi, Y. 2017. Structural damage detection using MAC-Fast Multi Swarm Optimization (MAC-FMSO). Matec Web of Conferences (138).
- Khennane, A. 2013. *Finite element analysis using MATLAB and Abaqus*. Taylor & Francis Group, LLC.
- MathWorks. 2015. *MATLAB: Primer, Version 8.6*. The Mathworks, Inc.
- MathWorks. 2015. *MATLAB: Programming Fundamental, Version 8.6*. The Mathworks, Inc.
- Save, M.A., Massonet, C.E., dan Saxce, G.de. 1997. Plastic limit analysis of plates, shells, and disks. North-Holland Series in Applied Mathematics and Mechanics (43): 523-580.

**ANALISA FAKTOR PENGARUH TENAGA KERJA TERHADAP
PRODUKTIVITAS PEKERJAAN PASANGAN DINDING BATAKO
(Studi Dilakukan: Pembangunan Gedung Kuliah Fakultas Keguruan dan Ilmu
Pendidikan Kampus Universitas Katolik Widya Mandira Kupang)**

Sebastianus B. Henong¹, Elias G. kilok, Agustinus H. Pattiraja³

1,2,3Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UNWIRA Kupang

Jalan San Juan, Penfui

Email: sebasthenong00@gmail.com , putrakilok.10@gmail.com

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur mengalami kemajuan cukup baik dengan adanya peningkatan kinerja dan sistem pengelolaan pekerjaan yang terstruktur. Perubahan ini memberi dampak positif dalam sisi ketepatan waktu, mutu dan biaya yang digunakan dalam pembangunan sebuah proyek konstruksi. Efisiensi penggunaan waktu, ketepatan mutu dan biaya secara langsung mempengaruhi pencapaian sebuah produksi pekerjaan. Perkembangan produktivitas suatu pekerjaan yang sering menjadi perhatian dalam bagian pekerjaan struktur sebuah bangunan, salahsatunya adalah pekerjaan pasangan dinding batako. Penelitian pekerjaan pasangan dinding batako difokuskan pada masalah faktor pengaruh tenaga kerja yakni faktor komposisi kelompok tenaga kerja, jarak material dengan lokasi kerja, usia, pengalaman kerja dan tingkat pendidikan. Faktor – faktor ini menjadi fokus permasalahan penelitian yang berlokasi pada Proyek

Pembangunan Gedung Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP) Universitas Widya Mandira Kupang. Tujuan penelitian secara umum untuk mengetahui pengaruh hubungan faktor – faktor tenaga kerja terhadap produktivitas pekerjaan pasangan dinding batako. Analisis data yang telah dilakukan, diketahui bahwa besar produktivitas pekerjaan pasangan dinding batako rata – rata sebesar 10,82 m²/hari/kelompok kerja, dimana hasil cukup memuaskan. Hasil analisa korelasi faktor – faktor diatas, juga menunjukkan bahwa semua variabel tersebut secara simultan berpengaruh terhadap produktivitas pekerjaan pasangan dinding batako dengan nilai signifikansi 0,012 < 0,05. Secara parsial, variabel yang memiliki pengaruh signifikan adalah Jarak Material dengan Lokasi Kerja dengan nilai signifikansi 0,017 < 0,05 dan Tingkat Pendidikan dengan nilai signifikansi 0,019 < 0,05. Tingkat korelasi faktor pengaruh tenaga kerja terhadap produktivitas pekerjaan pasangan dinding batako (R) berada pada 0,998 dimana nilai ini menunjukkan bahwa tingkat hubungan pengaruh berada pada kategori sangat kuat.

Kata Kunci: Produktivitas, Faktor, Korelasi

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan kinerja tenaga kerja dalam sebuah proyek konstruksi, dipandang perlu untuk menentukan kemajuan sebuah pekerjaan. Dasar kinerja dari seorang tenaga kerja dijadikan penilaian dari seorang pengguna jasa dalam menentukan pengembangan sebuah pekerjaan. Ketepatan penggunaan waktu, maupun mutu menjadi unsur penting dalam pengerjaan sebuah pekerjaan konstruksi, karena kedua hal tersebut menjadi dasar pengukuran sebuah produktivitas pekerjaan.

Produktivitas merupakan faktor mendasar yang mempengaruhi tingkatan kemampuan bersaing pada pekerjaan konstruksi. Peningkatan produktivitas akan mempengaruhi waktu pekerjaan, dan akan mempengaruhi biaya yang dibutuhkan, khususnya pada pengurangan biaya yang diperoleh pekerja bangunan. Oleh karena itu, pekerja dituntut bekerja secara efektif sesuai jumlah waktu yang diberikan dan dapat mencapai target volume pekerjaan yang diharapkan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas tenaga kerja pada umumnya tergolong atas dua jenis, yakni faktor lapangan diantaranya faktor komposisi kelompok tenaga kerja dan jarak material dengan lokasi kerja dan faktor manusia yang adalah usia, pengalaman kerja dan tingkat pendidikan. Faktor-faktor tersebut menjadi permasalahan dengan mengetahui tingkat produktivitas tenaga kerja yakni bagaimana hubungan faktor-faktor tenaga kerja dengan produktivitas pekerjaan pasangan dinding batako, faktor-faktor apa yang berpengaruh terhadap produktivitas pekerjaan pasangan dinding batako, faktor apa yang berpengaruh signifikan terhadap produktivitas pekerjaan pasangan dinding batako dan bagaimana tingkat korelasi faktor pengaruh tenaga kerja dengan produktivitas pekerjaan pasangan dinding batako. Adapun manfaat dalam penelitian ini yakni mengetahui besarnya tingkat produktivitas tenaga kerja terhadap faktor komposisi kelompok tenaga kerja, jarak material dengan lokasi kerja, usia, pengalaman kerja dan tingkat pendidikan yang berpengaruh secara simultan dan parsial terhadap produktivitas pekerjaan pasangan dinding batako.

1.2 Produksi dan Produktivitas

Pencapaian produksi bergantung pada faktor *external* dan faktor *internal*. Faktor *external*, berupa kondisi cuaca, ketersediaan material, alat dan keadaan lingkungan di sekitar lokasi kerja, sedangkan faktor *internal* diantaranya adalah usia, pengalaman kerja, pendidikan, kesehatan dan relasi dengan pekerja/pihak lain, adalah faktor yang berpengaruh terhadap perkembangan pekerjaan konstruksi.

Faktor - faktor di atas adalah penentu kemajuan bentuk fisik dari sebuah pekerjaan, atau dapat dikatakan sebagai produktifitas pekerjaan. Produktivitas pekerjaan dilihat dari kemampuan pekerja untuk menghasilkan sejumlah *output* dalam satu satuan waktu tertentu. Kemampuan dari pekerja tersebut menjadi sebuah ukuran dapat terselesainya sebuah pekerjaan konstruksi secara tepat atau tidak. Produksi dapat diartikan sebagai suatu kegiatan untuk menghasilkan atau menambah nilai fungsi dari suatu jasa atau barang dalam pemenuhan kebutuhan orang atau badan usaha. Dalam pencapaian produksi, membutuhkan waktu penyelesaian dengan besaran dalam satu satuan tertentu. Produktivitas dapat diartikan sebagai kemampuan seseorang atau kelompok dengan memanfaatkan kemampuan untuk mengukur efisiensi produksi dengan membandingkan hasil keluaran (*output*) dan masukan (*input*), dimana dapat diformulasikan menjadi:

$$\text{Produktivitas} = \frac{\text{Keluaran}}{\text{Masukan}}$$

(1)

Produktivitas Tenaga Kerja

Berdasarkan Keputusan Menteri No. 102 Tahun 2004 pasal 1(4), Tenaga Kerja adalah setiap orang yang mampu melakukan pekerjaan guna menghasilkan barang dan/atau jasa baik untuk memenuhi kebutuhan sendiri maupun untuk masyarakat. Tenaga kerja di lapangan terbagi dalam dua jenis, yakni tenaga kerja harian dan tenaga kerja borongan. Tenaga kerja harian merupakan tenaga kerja yang melaksanakan satu jenis pekerjaan di lapangan dengan tingkat kesulitan yang tinggi dan upahnya dihitung berdasarkan lamanya pekerjaan hingga selesai. Sedangkan tenaga kerja borongan adalah tenaga kerja yang melaksanakan satu jenis pekerjaan yang sifatnya massal di lapangan dan upahnya dihitung berdasarkan volume pekerjaan tanpa menghitung durasi waktu penyelesaian pekerjaan (Zulkifli Lubis dan Sandi Tri Putranto, 2010).

Faktor – Faktor Produktivitas Tenaga Kerja

Menurut Sentosa Limanto, et al (2008), faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas tenaga kerja digolongkan dalam dua tipe yakni faktor akibat lingkungan/lapangan kerja dan faktor akibat manusia (tenaga kerja). Kendala peningkatan produktivitas dapat bersumber dari lapangan, diantaranya adalah komposisi kelompok tenaga kerja dan jarak materi dengan lokasi kerja. Faktor manusia dalam permasalahan ini adalah tenaga kerja yang menjadi penentu untuk mencapai tingkat produktivitas yang ditargetkan. Kendala peningkatan produktivitas bersumber dari tenaga kerja adalah usia, pengalaman kerja dan tingkat pendidikan.

Analisis Statistik

Tahapan dalam analisa statistik dikutip dari Widarsana (2015), diantaranya adalah:

1. Sampel. Sampel penelitian adalah bagian dari jumlah dan karakteristik yang dimiliki oleh suatu populasi. Teknik pengambilan sampel dalam penelitian ini menggunakan teknik *purposive sampling*.
2. Kuesioner. Kuesioner merupakan instrumen untuk mendapatkan informasi tentang persepsi responden terhadap pertanyaan yang ada dalam kuesioner tersebut. Informasi – informasi tersebut diperoleh melalui sejumlah pertanyaan tertulis dan data – data lain yang dibutuhkan.
3. Pengukuran Variabel Penelitian. Untuk mendapatkan data kuantitatif mengenai tingkat kepentingan suatu faktor/variabel, maka dalam pengisian dibuatkan skala interval yaitu skala yang menunjukkan jarak antara satu data dengan data lain dan mempunyai bobot yang sama dengan memberikan skor pada masing – masing jawaban.

Tabel 1. Rating Skale

Angka	5	4	3	2	1
Deskripsi	Sangat baik	Baik	Cukup	Buruk	Sangat buruk

Analisis Regresi Linier Berganda

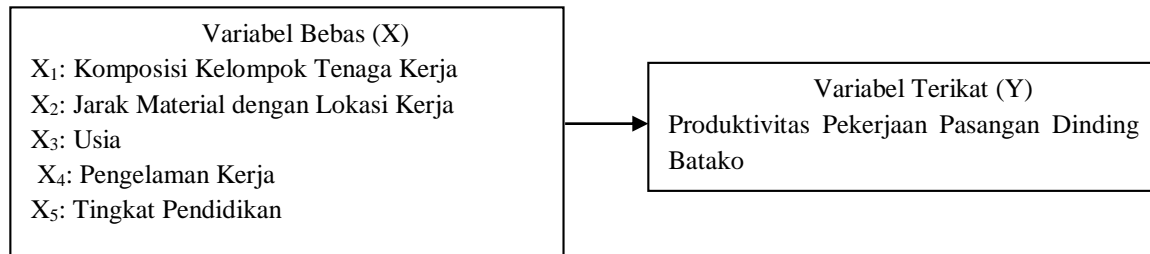
Analisis regresi berguna untuk mendapatkan pengaruh antar variabel prediktor (variabel X) terhadap variabel kriteriumnya (variabel Y). Regresi linier berganda (*multiple analysis regresi*) adalah analisis yang menjelaskan hubungan antara variabel terikat dengan faktor-faktor yang mempengaruhi lebih dari satu prediktor atau disebut variabel bebas.

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$$

Keterangan Formula:

Y = variabel terikat (*dependen*)
 X_1, X_2, X_n = variabel bebas (*independen*)
a = nilai konstanta
 b_1, b_2, b_n = nilai koefisien regresi dari variabel

Terdapat enam variabel yang dapat berkorelasi, jika terjadi perubahan pada salasatu variabel akan mempengaruhi variabel – variabel yang lain secara teratur, dengan arah yang sama atau dengan arah yang berlawanan. Variabel – variabel bebas mencakup elemen – elemen sebagai berikut:



Gambar 1. Hubungan Variabel Bebas dengan Variabel Terikat

Uji Hipotesis

1. Uji Signifikansi Simultan (Uji F)

Menurut Imam Ghozali (2005) (dalam Setiawan, 2010), uji statistik F menunjukkan apakah semua variabel independen (X_1, X_2, \dots, X_n) yang dimasukan dalam model mempunyai pengaruh secara simultan terhadap variabel dependen (Y). Menentukan signifikansi secara simultan dapat dilakukan hipotesis sebagai berikut:

Ho: Tidak terdapat pengaruh yang signifikan secara simultan antara variabel X_1, X_2, \dots, X_n terhadap variabel Y.

Ha: Terdapat pengaruh yang signifikan secara simultan antara variabel X_1, X_2, \dots, X_n terhadap variabel Y.

Untuk menguji hipotesis menggunakan statistik F dengan pengambilan keputusan sebagai berikut:

Jika $F_{hitung} \leq F_{tabel}$, maka Ho diterima

Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka Ho ditolak

2. Uji Signifikansi Parsial (Uji t)

Pengujian signifikansi parsial adalah pengujian untuk mengetahui apakah apakah suatu variabel bebas secara individu berpengaruh terhadap variabel terikatnya. Pengujian signifikansi parsial t dalam dugaan sementara sebagai berikut:

Ho: Tidak terdapat pengaruh yang signifikan secara parsial antara variabel X_1 atau X_2 atau X_n terhadap variabel Y

Ha: Terdapat pengaruh yang signifikan secara parsial antara variabel X_1 atau X_2 atau X_n terhadap variabel Y

Cara melakukan uji t adalah sebagai berikut (Imam Ghozali, 2005, dalam Setiawan, 2010):

1. Membandingkan nilai signifikansi hasil hitungan dengan signifikansi yang ditetapkan yakni 0,05. Jika $\text{sig.} > 0,05$ maka Ho diterima dan Ha ditolak.
2. Membandingkan nilai statistik t dengan titik kritis menurut tabel.

Jika nilai $t_{hitung} \leq t_{tabel}$, maka Ho diterima

Jika nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$, maka Ho ditolak

Uji Koefisien Determinansi (R^2)

Kofisien determinasi (R^2) pada dasarnya untuk mengukur seberapa jauh kemampuan model dalam menerangkan variasi variabel dependen. Nilai koefisien determinasi berada antara nilai 0 dan 1. Nilai R^2 yang kecil atau sama dengan 0 (nol), artinya kemampuan variabel-variabel independen dalam menjelaskan variasi variabel dependen amat terbatas. Apabila sebaliknya nilai R^2 mendekati 1 (satu) berarti variabel – variabel independen hampir memberikan semua informasi yang dibutuhkan untuk memprediksi variasi variabel dependen (Setiawan, 2010).

1.3 Metode Penelitian

Cara Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan mengkaji pustaka, observasi lapangan dan teknik wawancara. Kajian pustaka yakni mengupulkan data dokumen dan informasi melalui sumber tertulis; metode observasi/pengamatan lapangan secara langsung terhadap lokasi yang menjadi objek penelitian dengan peralatan penunjang, yakni kamera, peralatan menulis dan alat ukur; dan teknik wawancara dilakukan secara terstruktur dan langsung dengan menggunakan formulir angket untuk mengetahui jumlah kelompok tenaga kerja, usia tenaga kerja, pengalaman kerja dan pendidikan tenaga kerja.

Lokasi Pengambilan Data

Lokasi penelitian dilakukan di Jalan San Juan, Desa Penfui Timur, Kabupaten Kupang. Secara geografis, lokasi penelitian tersebut berada pada 10°9'31.67"LS dan 123°40'29.92"BT.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

2. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Analisa Data Deskriptif

Produksi tertinggi pada hari ke-5 yakni sebesar 14,29 m²/hari/kelompok kerja dan produksi terendah pada hari ke-7 yakni 8,10 m²/hari/kelompok. Rata – rata produksi pekerjaan pasangan dinding batako sebesar 10,82 m²/hari/kelompok. Data tersebut dapat diamati dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Produksi Harian per Kelompok Kerja

Hari Ke-	Produksi Harian (m²/hari)	Produksi/Kelompok (m²/hari/kel.)	Persentase Produksi per Kelompok (%)
1	24,14	12,07	11,16
2	24,89	12,44	11,51
3	24,39	12,19	11,27
4	19,84	9,92	9,17
5	57,17	14,29	13,22
6	41,26	10,31	9,54
7	32,38	8,10	7,48
8	43,37	10,84	10,02
9	19,09	9,55	8,83
10	16,88	8,44	7,80
Jumlah	303,41	108,16	100,00
	Rata -Rata	10,82	

Analisa Linier Berganda

Tabel 3. Hasil Analisa Regresi Linier Berganda dengan SPSS versi 16

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	.328	.617		.532	.648
Komposisi Kelompok T. K. (X1)	-1.299	.285	-.918	-4.552	.045
Jarak Material dengan Lokasi Kerja (X2)	.929	.123	2.071	7.533	.017
Usia (X3)	.340	.144	.534	2.359	.142
Pengalaman Kerja (X4)	.168	.068	.374	2.487	.131
Tingkat Pendidikan (X5)	.670	.093	.917	7.191	.019

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5$$

$$Y = 0,328 - 1,299 X_1 + 0,929X_2 + 0,340X_3 + 0,168X_4 + 0,670X_5$$

Uji Hipotesis

Tabel 4. Rekapitulasi Nilai β , t, R dan F

Variabel	B	t	Sig t	R ²	F	Sig. F
Komposisi Kelompok T. K. (X1)	-1,299	-4,552	0,045	0,995	85,360	0,012
Jarak Material dengan Lokasi Kerja (X2)	0,929	7,533	0,017			
Usia (X3)	0,340	2,359	0,142			
Pengalaman Kerja (X4)	0,168	2,487	0,131			
Tingkat Pendidikan (X5)	0,670	7,191	0,019			

1. Uji Signifikansi Simultan (Uji F)

Perhitungan F_{tabel} :

Tingkat signifikansi (α) = 0,05

$F_{\text{tabel}} = F(\alpha; f_1, f_2)$

$F_{\text{tabel}} = F(\alpha; [k - 1], [n - 1] - [k - 1])$

Dengan jumlah variabel (k) = 6 dan jumlah sampel (n) = 8, maka:

$F_{\text{tabel}} = F(0,05; [6 - 1], [8 - 1] - [6 - 1])$

$F_{\text{tabel}} = F(0,05; [5], [7] - [5])$

$F_{\text{tabel}} = F(0,05; [5], [2])$

$F_{\text{tabel}} = 19,30$

Hasil analisis pada Tabel 4.3 diketahui $F_{\text{hitung}} = 85,360$ dan Signifikansi = 0,012 sedangkan nilai $F_{\text{tabel}} = 19,30$ dan α yang ditetapkan adalah 0,05. Dari data tersebut diketahui bahwa nilai F adalah $85,360 > 19,30$ dan nilai sig. $0,012 < 0,05$ maka dapat disimpulkan bahwa H_a diterima dan H_o ditolak. Artinya bahwa terdapat pengaruh secara serempak dari variabel komposisi kelompok tenaga kerja, jarak material dengan lokasi kerja, usia, pengalaman kerja dan tingkat pendidikan terhadap produktivitas pekerjaan pasangan dinding batako.

2. Uji Signifikansi Parsial (Uji t)

Perhitungan t_{tabel} :

Tingkat signifikansi (α) = 0,05

$t_{\text{tabel}} = t(\alpha/2; n - k)$

Dengan jumlah variabel (k) = 6 dan jumlah sampel (n) = 8, maka:

$t_{\text{tabel}} = t(0,05/2; 8 - 6)$

$t_{\text{tabel}} = t(0,025; 2)$

$t_{\text{tabel}} = 4,30$

Koefisien Determinansi Berganda (R^2)

Berdasarkan hasil analisis dalam Tabel 4 diperoleh koefisien determinasi berganda (R^2) sebesar 0,995. Hasil ini menjelaskan bahwa 99,5% produktivitas tenaga kerja pada pekerjaan dinding batako dijelaskan oleh lima (5) variabel bebas yaitu variabel komposisi kelompok tenaga kerja, jarak material dengan lokasi kerja, usia,

pengalaman kerja dan tingkat pendidikan. Sedangkan sisanya ($1 - 0,995 = 0,005$) yakni sebesar 0,005 atau 0,5% dipengaruhi oleh variabel lain diluar variabel yang disebutkan dalam penelitian ini.

Pembahasan

Besarnya produktivitas pekerjaan pasangan dinding batako diperoleh dari hasil pengumpulan data produksi harian masing – masing kelompok kerja yang dilakukan selama sepuluh hari. Produksi tertinggi pada hari ke-5 yakni $14,29 \text{ m}^2/\text{hari}/\text{kelompok kerja}$, dan rata-rata produksi pasangan dinding batako/kelompok kerja (1 tukang : 1 pembantu tukang) adalah $10,82 \text{ m}^2$. Produksi tersebut cukup memuaskan dengan hasil diatas 50% dari produksi harian rata – rata yaitu $19,39 \text{ m}^2/\text{hari}$ (Rustendi, 2011). Jika dilihat dari syarat tersebut maka 50% dari $19,39 \text{ m}^2/\text{hari}$ adalah $9,70 \text{ m}^2/\text{hari}$. Dengan demikian hasil produksi rata – rata sebesar $10,82 \text{ m}^2/\text{hari}/\text{kelompok kerja}$ masih memenuhi syarat yang diberikan.

Pengujian hipotesis terhadap data yang dihimpun, diketahui hasil uji simultan $F_{\text{tabel}} > F_{\text{hitung}}$ ($85,360 > 19,30$) atau sig. F_{hitung} $0,012 < 0,05$. Hasil ini membuktikan semua variabel independen secara bersama – sama mempengaruhi variabel dependen atau lebih jelas dapat dikatakan bahwa, variabel komposisi kelompok tenaga kerja, jarak material dengan lokasi kerja, usia, pengalaman kerja dan tingkat pendidikan secara simultan mempengaruhi produktivitas pekerjaan pasangan dinding batako.

Hasil uji parsial menunjukan bahwa jarak material dengan lokasi kerja dan tingkat pendidikan secara individu mempengaruhi produktivitas pekerjaan pasangan dinding batako dengan nilai $t_{\text{hitung}} = 7,533 > t_{\text{tabel}} 4,30$ dan $t_{\text{hitung}} = 7,191 > t_{\text{tabel}} 4,30$.

Sumbangan pengaruh dari variabel bebas, dapat dilihat juga dari nilai koefisien determinasi berganda (R^2). Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai R^2 sebesar 0,995. Artinya, bauran pengaruh dari faktor pengaruh komposisi kelompok tenaga kerja, jarak material dengan lokasi kerja, usia, pengalaman kerja dan tingkat pendidikan sebesar 99,5% terhadap produktivitas pekerjaan pasangan dinding batako. Sedangkan sisanya sebesar 0,5% dipengaruhi oleh faktor lain yang tidak dijelaskan dalam penelitian ini.

3. KESIMPULAN

1. Besarnya tingkat produktivitas tenaga kerja dalam pekerjaan pasangan dinding batako pada proyek pembangunan Gedung Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP) Universitas Katolik Widya Mandira Kupang adalah rata – rata sebesar $10,82 \text{ m}^2/\text{hari}/\text{kelompok kerja}$ atau lebih besar dari syarat minimum yakni $9,70 \text{ m}^2/\text{hari}/\text{kelompok kerja}$.
2. Hubungan faktor – faktor tenaga kerja terhadap produktivitas pekerjaan pasangan dinding batako berada dibawah taraf kepercayaan 5%. Hasil analisis diperoleh signifikansi $= 0,012 < 0,05$ dan $F_{\text{hitung}} = 85,360 > F_{\text{tabel}} = 19,30$. Hasil tersebut menjelaskan bahwa adanya hubungan pengaruh secara bersama – sama dari semua faktor pengaruh tenaga kerja terhadap produktivitas pekerjaan pasangan dinding batako.
3. Faktor – faktor yang berpengaruh terhadap produktivitas pekerjaan pasangan dinding batako adalah Jarak Material dengan Lokasi Kerja dengan nilai $t_{\text{hitung}} = 7,533 > t_{\text{tabel}} = 4,30$ dan Tingkat Pendidikan dengan $t_{\text{hitung}} = 7,191 > t_{\text{tabel}} 4,30$. Hasil statistik tersebut, mempengaruhi produktivitas pekerjaan pasangan dinding batako.
4. Faktor yang berpengaruh signifikan terhadap produktivitas pekerjaan pasangan dinding batako adalah jarak material dengan lokasi kerja, dengan nilai $t_{\text{hitung}} = 7,533 > t_{\text{tabel}} = 4,30$.
5. Tingkat korelasi faktor pengaruh (R) variabel komposisi kelompok tenaga kerja, jarak material dengan lokasi kerja, usia, pengalaman kerja dan tingkat pendidikan sangat kuat yakni dengan nilai $R = 0,998$. Indikasi nilai tersebut mendekati angka 1, dimana variabel bebas hampir memberikan semua informasi dalam memprediksi produktivitas pekerjaan pasangan dinding batako.

PUSTAKA

- Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia. 2004.: Waktu Kerja Lembur dan Upah Kerja Lembur. Departemen Tenaga Kerja dan Transmigrasi (ads). Jakarta.
- Limanto, S., dkk. 2008. Analisis Produktivitas Pekerjaan Dinding Setengah Bata Pada Rumah Dua Lantai Di Proyek Perumahan. Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Lubis, Z. dan Sandy T. Putranto. 2010. Penentuan Harga Satuan Pekerjaan Ditinjau Dari Produktivitas Tenaga Kerja Konstruksi Pada Setiap Jenjang Keahlian Di Lapangan. Teknik Sipil. 2:15-17.
- Rustendi, I. 2011. Produktivitas Pekerjaan Pasangan Batu Bata pada Dinding Rumah Tinggal. Teodolita 7:5-6.
- Sentosa Limanto, et al (2008) Analisis produktivitas pekerjaan dinding setengah bata pada rumah dua lantai di proyek perumahan. Konferensi Nasional Teknik Sipil 2 (konteks 2) Universitas Atma Jaya Jogjakarta 6-7 Juni 2008

- Setiawan, S. A. 2010. Pengaruh Umur, Pendidikan, Pendapatan Pengalaman Kerja dan Jenis Kelamin Terhadap Lama Mencari Kerja Bagi Tenaga Kerja Terdidik di Kota Magelang. Fakultas Ekonomi Universitas Diponegoro Semarang.
- Widyarsana, I P. 2015. Karakteristik Manajer Proyek Terhadap Kualitas Kinerja Pelaksanaan Konstruksi Gedung di Kabupaten Bandung. Universitas Udayana Denpasar.

IMPLEMENTASI KONSTRUKSI BERKELANJUTAN PADA PENANGANAN BANGUNAN PASCA KEBAKARAN DENGAN *FIBER REINFORCED POLYMER (FRP)* DAN *JACKETING* (Studi Kasus Pada Pasar 'X' Semarang)

Stefanus Erik Susanto¹, Ivan Hidayat¹, Hermawan^{2,3}, David Widiyanto² dan Albertus Kriswandhono⁴

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Universitas Katolik Soegijapranata

Email: stefanuserik.se@gmail.com; ivanhidayat97@gmail.com

²Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Universitas Katolik Soegijapranata,

³Anggota Kelompok Peneliti Manajemen Konstruksi Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata, Jl. Pawiyatan Luhur IV/1 Bendan Dhuwur Semarang 50234

Email: hermawan.mrk@gmail.com

⁴Founder & Peneliti ERTIM Conservation Institute

Jl Letjen Soeprato No. 44, Kawasan Kota Lama Semarang

Email: ertim.indo@gmail.com

ABSTRAK

Prinsip utama dalam keberlanjutan adalah tercapainya perbaikan kualitas hidup manusia melalui perbaikan sosial, ekonomi dan lingkungan. Prinsip tersebut dapat diimplementasikan pada berbagai macam bangunan. Salah satunya adalah Pasar 'X' di Semarang yang mempunyai nilai cagar budaya. Implementasi tersebut dapat diperlihatkan pada penggunaan material dalam penanganan bangunan cagar budaya pasca kebakaran. Bangunan pasca kebakaran yang dialami oleh Pasar 'X' merupakan pusat perekonomian bagi masyarakat di Semarang. Pada sisi yang lain, ada nilai kecabarbudayaan yang harus delivered di dalam perbaikan bangunan pasca kebakaran sehingga dapat terjaga keberlanjutannya namun tetap memenuhi kaidah strukturnya. Oleh karena itu, diperlukan pemodelan untuk mencapai tujuan penelitian ini melalui perbandingan perbaikan struktur pasca kebakaran. Komponen struktur yang diteliti adalah kolom. Standar yang digunakan dalam memodelkan kedua macam perbaikan tersebut adalah ACI 440.2R-08 untuk FRP dan IS 15988 (2013) untuk concrete jacketing. Data yang diperlukan untuk memodelkan kedua macam perbaikan tersebut adalah hasil uji kuat tekan beton yang diperoleh dengan core drill dan uji kuat tarik baja tulangan dari kondisi eksisting. Selanjutnya, dimodelkan dengan menggunakan bantuan software ETABS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa diperlukan FRP sebanyak 6 lapis tipe FRC 530 untuk kolom podium dan 3 lapis tipe FRC 530 untuk kolom tinggi terhadap kapasitas beban aksial nominal dan kapasitas momen nominal. Perbaikan dengan concrete jacketing diperlukan beton setebal 15 cm dengan tulangan utama 4 D16 mm serta dengan tulangan sengkang $\varnothing 8-75$ mm.

Kata Kunci: konstruksi berkelanjutan, pasca kebakaran, FRP, concrete jacketing

1. PENDAHULUAN

Menurut *The International Telecommunication Union (ITU)*, 2012, salah satu aspek di dalam bangunan berkelanjutan adalah pengelolaan bangunan itu sendiri sehingga dapat menjaga keberlanjutan bangunan itu sendiri. Pengelolaan bangunan dapat dilakukan selama masa operasional bangunan ataupun penanganan terhadap bangunan yang mengalami kerusakan pada tahap konstruksi. Salah satu upaya untuk menjaga keberlanjutan terhadap bangunan adalah perbaikan bangunan dengan mempertahankan prinsip originalitas. Konsep tersebut dapat diartikan meminimalkan intervensi terhadap dampak yang muncul akibat perbaikan yang dilakukan pada bangunan itu.

Kasus kebakaran yang terjadi pada pasar "X" telah mendisfungsikan bangunan. Struktur pasar "X" terbuat dari beton bertulang sehingga bila terkena panas di atas 250°C, beton akan mengalami retak, terkelupas (*spalling*), dan kehilangan kekuatan. Kehilangan kekuatan terjadi karena perubahan komposisi kimia secara bertahap pada pasta semennya (Tjokrodinuljo, 2000).

Menurut Ahmad dkk., (2009), adalah beton yang telah dipanasi pada 200°C selama 3 jam, kuat tekan rata – ratanya 85,83% dari beton normal. Jika dibakar sampai temperatur 400°C, kuat tekan rata – ratanya 58,40% dari beton normal. Selanjutnya pada suhu 600°C, kuat tekan rata – ratanya 35,08%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya kenaikan temperatur, kuat tekan beton akan menurun. Menurut *Concrete Society Technical Report 68*, efek kebakaran memberikan reaksi buruk terhadap elemen beton struktural. Pemanasan beton menyebabkan serangkaian perubahan mineralogi secara progresif dan perubahan kekuatan.

Menurut Obaidat (2010), penambahan lapisan FRP pada beton mampu meningkatkan kuat geser sebesar 23% dan peningkatan kuat lentur sebesar 7% sampai 33%. Beton yang dilapisi dengan FRP juga memiliki kekakuan yang lebih tinggi daripada beton biasa. Metode pemasangan FRP memiliki kelebihan dan kelemahan. Menurut

Burgoyne (2009), FRP merupakan serat yang kuat, tidak berkarat, dan tahan terhadap klorida. Penggunaan FRP mampu meningkatkan kapasitas lentur, selain itu FRP sebagai perkuatan eksternal mampu menguatkan struktur dari beban yang ekstrim seperti gempa bumi dan benturan. Pemasangan FRP memiliki kelemahan yaitu biaya pemasangannya yang FRP relatif mahal. Hal ini disebabkan harga bahan baku yang tinggi. Selain itu, pemasangan FRP harus dilaksanakan dengan teliti karena, sedikit robekan pada seratnya akan menjalar serat lainnya.

Dalam bidang teknik sipil, metode dalam perbaikan struktur bangunan selain pemasangan lapisan FRP cukup banyak, salah satunya adalah *concrete jacketing*. Ada banyak hal yang dipertimbangkan dalam pemilihan metode perbaikan seperti tingkat kerusakan, biaya, dan lahan yang ada.

Metode *concrete jacketing* dipilih karena menurut Julio dkk., (2003) perbaikan menggunakan *concrete jacketing* mampu meningkatkan kekuatan, kekakuan dan durabilitas kolom. Metode ini juga tidak memerlukan tenagaspesialis dalam pelaksanaannya. Alcoer dan Jirsa (1991), menyimpulkan bahwa penggunaan *concrete jacketing* untuk perbaikan meningkatkan kekuatan beton sebesar 65% dan peningkatan kekakuan sebesar 50%. Metode *concrete jacketing* memiliki kelebihan dan kelemahan. Menurut Okakpu (2013), metode *concrete jacketing* sangat efisien dalam meningkatkan kapasitas geser kolom dan balok. Peningkatan kuat lentur juga diperoleh akibat dari penambahan tulangan pada lapisan beton luar. Kelemahan metode ini adalah menambah penampang elemen serta menambah berat dari struktur.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya dan masalah kebakaran yang sering terjadi diperlukan sebuah penanganan yang tepat. Dalam menangani masalah tersebut secara ilmiah dan tepat, digunakan berbagai metode penaksiran, serta analisis secara komputasi. Oleh karena itu, pentingnya penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan perbaikan struktur beton bertulang dengan menggunakan FRP dan *concrete jacketing*. Perbedaan tersebut dapat ditinjau dari kekuatan struktur dan selanjutnya besar biaya material yang digunakan untuk perbaikan.

2. TUJUAN

Tujuan penelitian ini adalah memperlihatkan implementasi prinsip keberlanjutan melalui perbaikan struktur bangunan pasca kebakaran pada struktur kolom beton bertulang Pasar 'X' Semarang bagian utara melalui metode pemasangan FRP dan *concrete jacketing*.

3. KAJIAN PUSTAKA

3.1. Beton Bertulang Pasca Kebakaran

Kenaikan suhu menyebabkan air bebas di beton berubah dari keadaan cair menjadi keadaan gas. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya perubahan pada tingkat tertentu pada saat panas ditransmisikan dari permukaan ke bagian dalam komponen beton. Kenaikan suhu menyebabkan penurunan kekuatan dan modulus elastisitas untuk struktur beton dan baja. Namun pada tingkat kekuatan dan modulus menurun bersamaan bergantung pada laju kenaikan suhu api dan sifat isolasi dari beton (Bilow dan Mahmoud, 2008). Rochman (2006), beton yang dipanasi pada suhu antara 400 – 600°C akan mengalami penurunan kuat tekan dan kuat lentur hingga mencapai 50% dari kuat tekan sebelumnya. Penurunan ini disebabkan karena terjadinya proses dekomposisi unsur C-S-H yang terurai menjadi kapur bebas CaO serta SiO₂ yang tidak memiliki kekuatan sama sekali.

3.2. Metode Perbaikan Beton Bertulang Pasca Kebakaran

Menurut Zhang (2012), ada empat metode untuk memperbaiki dan memperkuat beton bertulang yaitu *section enlargement and concrete jacketing*, *external reinforcement*, *strengthening beams using of steel plates*, dan *unbounded external strengthening*. Metode *section enlargement and concrete jacketing* dilakukan dengan cara menambahkan lapisan beton tambahan di sekeliling beton eksisting. Metode *external reinforcement* dilakukan dengan penambahan baja tulangan eksternal pada beton. Metode *strengthening beams using of steel plates* dilakukan dengan cara menambahkan pelat baja pada bagian eksternal beton. Metode *unbounded external strengthening* dilakukan dengan cara menambahkan material baja seperti *wire rope*, *steel clamping* dan *post – tension units*. Metode *section enlargement and concrete jacketing* dapat meningkatkan kapasitas beban lebih efektif daripada metode lainnya.

Menurut Waghmare (2011), ada tiga metode *jacketing* yang dapat dilakukan pada kolom yaitu *concrete jacketing*, *steel jacketing*, dan *FRP jacketing*. Tujuan utama *jacketing* pada kolom adalah untuk menambah kuat tekan kolom, kuat geser kolom dan untuk memenuhi desain *strong column – weak beam*.

3.3. Pemasangan FRP

FRP terdiri dari serat kekuatan tinggi yang dilekatkan pada matriksresin polimer. Serat yang biasanya digunakan dalam FRP adalah kaca, karbon dan *aramid*. Fungsi utama matriks dalam komposit adalah untuk mentransfer tekanan antara serat, untuk memberikan perlindungan terhadap pengaruh lingkungan dan untuk melindungi permukaan serat dari abrasi mekanis. Sifat mekanik komposit bergantung pada sifat serat, properti matriks, sifat ikatan serat-matriks, jumlah serat dan orientasi serat. Komposit dengan semua serat dalam satu arah disebut sebagai searah. Jika serat dianyam, atau berorientasi ke banyak arah, kompositnya disebut *bidirectional* atau *multidirectional*. Metode perbaikan dan penguatan struktur beton bertulang dengan menggunakan FRP merupakan teknik penguatan eksternal yang memiliki batas kekuatan tarik (ultimate tensile strength) yang cukup tinggi, sehingga metode ini dapat menjadi alternatif untuk penguatan struktur yang mengalami kerusakan akibat kebakaran, gempa, dan lain-lain (Obaidat, 2010).

Perkuatan beton dengan 2 lapis FRP, 4 lapis FRP, 6 lapis FRP dan 12 lapis FRP mampu meningkatkan beban ultimit yang mampu diterima beton sebanding dengan jumlah lapisannya. Perkuatan beton dengan *preloading* FRP memiliki beban ultimit lebih besar dibandingkan dengan beton yang diperkuat dengan FRP tanpa *preloading* (Rahimi dan Hutchinson, 2001). Perhitungan desain pemasangan FRP diterbitkan dalam ACI 440.2R-08 (2008) *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structure*. Desain dalam penguatan struktur dengan FRP dapat diaplikasikan pada balok dan kolom beton. Untuk kolom beton bertulang, penguatan dengan FRP meliputi penguatan terhadap geser, beban aksial, dan momen. Langkah-langkah perhitungan sebagai berikut:

a. Menghitung desain properti material

$$f_{fu} C_E \cdot f_{fu}^* \quad (1)$$

$$\varepsilon_{fu} C_E \cdot \varepsilon_{fu}^* \quad (2)$$

Dengan f_{fu} = kuat tarik ultimit FRP, (psi atau MPa), f_{fu}^* = kuat tarik ultimit FRP yang tertera pada produk, (psi atau MPa), ε_{fu} = desain tegangan putus pada penguatan FRP (in/in' atau mm/mm'), ε_{fu}^* = desain tegangan putus ultimit pada penguatan FRP (in/in' atau mm/mm'), dan C_E = faktor reduksi lingkungan.

b. Menghitung tegangan efektif pada penguatan geser FRP

$$\varepsilon_{fe} = 0,004 \leq 0,75 \varepsilon_{fu} \quad (3)$$

Dengan ε_{fe} = tingkat tegangan efektif pada penguatan FRP mencapai kegagalan, (in/in' atau mm/mm').

c. Menentukan area penguatan FRP yang dibutuhkan

$$V_f = \frac{\Delta V_u}{\Phi(\Psi_f)} \quad (4)$$

$$A_{fv} = \frac{V_f \cdot S_f}{\varepsilon_{fe} \cdot E_f (\sin \alpha + \cos \alpha) d_f} \quad (5)$$

Dengan V_{fv} = kuat geser nominal yang disediakan FRP (lb atau N), A_{fv} = area penguatan FRP yang dibutuhkan (in² atau mm²), V_f = kuat geser nominal berdasarkan tulangan sengkang, (lb atau N), A_{fv} = luas penguatan geser FRP dengan jarak s, (in² atau mm²), ΔV_u = tegangan geser yang dibutuhkan, (kips atau kN), Φ = faktor reduksi, Ψ_f = faktor reduksi kekuatan FRP, E_f = modulus elastisitas FRP, (psi atau MPa), d_f = tebal efektif FRP untuk penguatan lentur, (in atau mm), S_f = Jarak antar lapisan penguatan FRP, (in atau mm)

d. Menentukan jumlah pelapisan, lebar strip dan jarak

$$n = \frac{A_f}{2t_f \cdot W_f} \quad (6)$$

Dengan n = jumlah lapis FRP, t_f = ketebalan nominal 1 lapis FRP, (in atau mm), dan W_f = lebar lapisan penguatan FRP, (in atau mm)

Perhitungan penguatan kolom terhadap beban aksial dan momen pada intinya adalah menghitung kuat tekan dan kuat kekang lateral dari kolom kemudian digambarkan dalam diagram interaksi dengan memperhitungkan gaya-gaya yang terjadi pada beberapa kondisi aksial dan momen. Langkah-langkah perhitungan sebagai berikut:

a. Menentukan kurva yang disederhanakan untuk kolom tidak diperkuat ($n = 0$ lapis). Kurva ini juga bisa didapat dari hasil permodelan secara komputasi ETABS.

b. Menentukan kurva yang disederhanakan untuk kolom yang diperkuat

$$\Phi P_{n(A)} = \Phi 0,8 (0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}) \quad (7)$$

$$\Phi P_{n(B,C)} = \Phi[(A(y_t)^3 + (B(y_t)^2 + C(y_t) + D + \sum A_{si} f_{si})] \quad (8)$$

$$\Phi M_{n(B,C)} = \Phi[(E(y_t)^4 + (F(y_t)^3 + (G(y_t)^2 + H(y_t) + I + \sum A_{si} f_{si} d_i)] \quad (9)$$

Dengan A_g = luas *gross* (kotor) beton, (in^2 atau mm^2), A_{st} = luas total tulangan longitudinal, (in^2 atau mm^2), M_n = kuat lentur nominal, (in-lb atau N-mm), A_{si} = luas lapisan ke- i tulangan longitudinal, (in^2 atau mm^2), f_{si} = tegangan pada tulangan *nonprestressed*, (psi atau MPa), d_i = jarak dari pusat lapisan ke- i tulangan longitudinal ke pusat penampang, (in atau mm), dan Φ = faktor reduksi kekuatan

c. Cek kurva diagram interaksi dengan kebutuhan P_u dan M_u

3.4. Concrete Jacketing

Perbaikan struktur bangunan menggunakan metode penyelubungan lapisan beton bertulang (*concrete jacketing*) merupakan salah satu teknik perbaikan pada tingkat lokal atau elemen struktur untuk meningkatkan kinerja elemen tersebut dari segi kekuatan (kapasitas momen lentur dan geser), kekakuan, dan daktilitas. Menurut Jirsa dan Alcocer (1991), jacketing pada kolom menghasilkan perilaku kolom kuat balok lemah dengan peningkatan pada *peak strength* empat kali dari kekuatan elemen eksisting. Teknik pelaksanaan metode ini adalah dengan menambahkan lapisan beton, tulangan longitudinal, dan geser pada sekeliling elemen. Kapasitas momen lentur bertambah akibat adanya tambahan tulangan longitudinal. Kapasitas geser bertambah dari akibat penambahan sengkang dengan jarak yang lebih rapat.

Menurut Julio dkk., (2003) perbaikan menggunakan *concrete jacketing* mampu meningkatkan kekuatan, kekakuan dan durabilitas kolom. Metode ini juga tidak memerlukan tenaga spesialis dalam pelaksanaannya. Menurut Alcocer dan Jirsa (1991), penggunaan *concrete jacketing* untuk perbaikan meningkatkan kekuatan beton sebesar 65% dan peningkatan kekakuan sebesar 50%.

Perhitungan *concrete jacketing* dilakukan berdasarkan rekomendasi standar India IS 15988(2013): *Seismic Evaluation and Strengthening of Existing Reinforced Concrete Building*. Pedoman tersebut diterbitkan oleh *Bureau of Indian Standards*. Jacket beton bertulang meningkatkan kekuatan lentur kolom dan daktilitas. Penulangan melintang atau lateral yang dipasang ke dalam jacket meningkatkan kekuatan geser dan keuletan kolom.

Perhitungan desain jaket beton kolom dan tulangan longitudinal pada intinya adalah merencanakan ketebalan dimensi jaket dan besaran tulangan yang dipasang berdasarkan pada beban aksial P dan momen M yang ditanggung kolom. Langkah-langkah dalam desain perkuatan kolom dengan *concrete jacketing* sebagai berikut:

- Menghitung beban aksial P dan momen M yang akan ditanggung oleh kolom.
- Menghitung ukuran kolom dan tulangan untuk P dan M yang ditentukan sebelumnya.
- Ukuran kolom dan jumlah tulangan kondisi eksisting dikurangkan untuk mendapat besaran beton dan tulangan jaket yang akan dipasang.
- Menentukan ukuran penampang kolom dan tulangan jaket yang akan dipasang.
- Meningkatkan besaran beton dan tulangan yang seharusnya disediakan, untuk keamanan.

$$A_c = (3/2)A'_c \text{ dan } A_s = (4/3)A'_s \quad (10)$$

Dengan A_c = luasan beton aktual yang disediakan dalam jaket pembungkus (mm^2), A_s = luasan baja aktual yang disediakan dalam jaket pembungkus (mm^2), A'_c = luasan beton yang diperoleh untuk jaket pembungkus setelah dikurangi beton dan tulangan kondisi eksisting (mm^2), dan A'_s = luasan baja yang diperoleh untuk jaket pembungkus setelah dikurangi beton dan tulangan kondisi eksisting (mm^2).

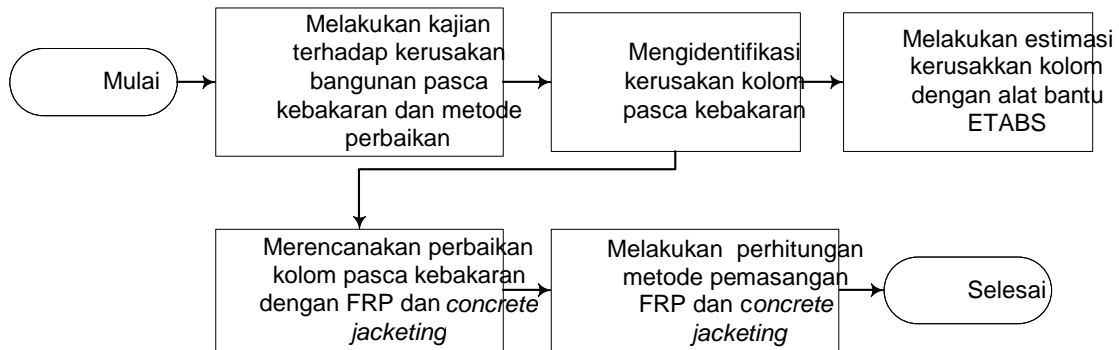
Pengikat lateral atau sengkang dibutuhkan untuk menghindari kegagalan geser lentur pada kolom dan memberikan sifat mengikat pada tulangan longitudinal yang memadai. Desain pengikat lateral atau sengkang, dijabarkan sebagai berikut:

$$s = \frac{f_y \times d_h^2}{\sqrt{f'_c} \times t_j} \quad (11)$$

Dengan, s = jarak antar sengkang (mm), f_y = tegangan leleh baja (N/mm^2), f'_c = kuat tekan beton karakteristik (N/mm^2), t_j = ketebalan jaket (mm), dan d_h = diameter tulangan longitudinal (mm).

4. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Metode penelitian

Obyek dari penelitian ini adalah Pasar ‘X’ di Semarang. Pasar tersebut merupakan bangunan cagar budaya yang masih aktif digunakan sebagai kegiatan perekonomian.

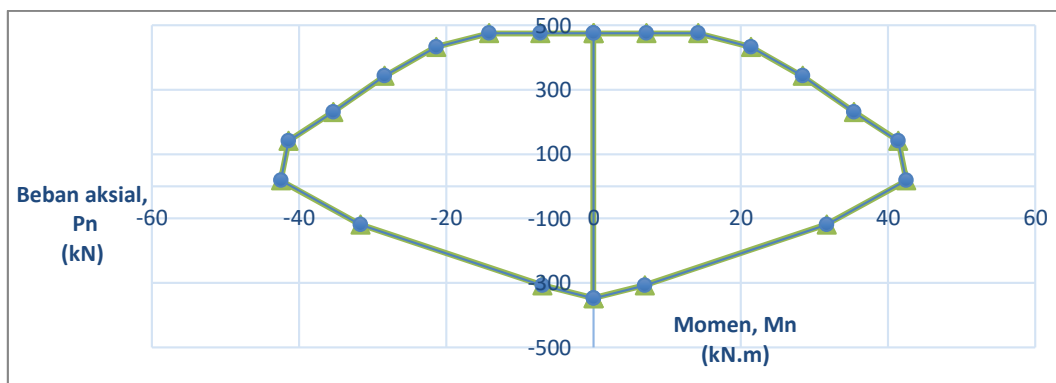
5. PEMBAHASAN

Data kolom diperlihatkan pada Tabel 2.

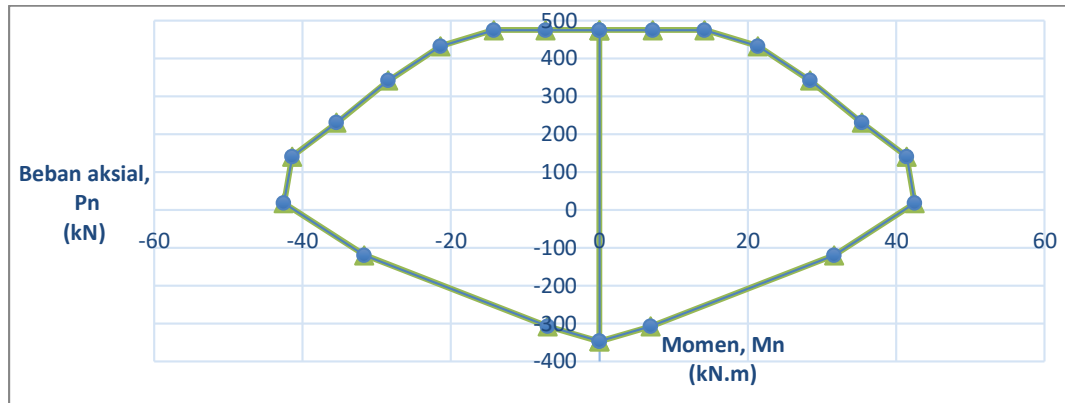
Tabel 2. Data kolom

Uraian	Diameter kolom	Diameter tulangan geser	Jarak antar tulangan geser	Diameter tulangan utama	Jumlah	fc'	fy
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(MPa)	(MPa)
Kolom podium	430	8	150	16	8	4,35	240
Kolom tinggi	430	8	150	16	8	1,25	240

Data kolom tersebut kemudian dimodelkan berdasarkan denah Pasar “X” dengan bantuan *software* ETABS. Berdasarkan pemodelan ETABS didapat diagram interaksi kolom yang diperlihatkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Diagram interaksi kolom podium



Gambar 3. Diagram interaksi kolom tinggi

Selain diagram interaksi, pemodelan ETABS juga menghasilkan nilai kapasitas beban aksial (P_n), kapasitas momen lentur (M_n) dan kapasitas geser (ΔV) yang dibutuhkan. Nilai kapasitas beban aksial, kapasitas momen lentur, dan kapasitas geser yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai kapasitas beban aksial, kapasitas momen lentur dan kapasitas geser yang dibutuhkan

Uraian	Kapasitas beban aksial	Kapasitas Momen lentur	Kapasitas geser
	kN	kN	kN
Kolom podium	1.618,58	65,405	27,02
Kolom tinggi	860,22	53,37	0,22

5.1 Pemasangan FRP

Jenis FRP yang digunakan adalah FRPberjenis *carbon* FRC 530 dari Fosroc International Ltd. Data FRP FRC 530 diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data FRP FRC 530

Tipe FRP	Ketebalan per lapisan	Modulus elastisitas	Kuat tarik	Kuat tarik ultimit	Tegangan putus ultimit
	(mm)	(kgf/cm ²)	(kgf/cm')	(kgf/cm ²)	(%)
FRC 530	0,293	2.350.000	1.050	35.500	2,1

Data yang diperlihatkan di atas digunakan untuk melakukan perhitungan perkuatan geser, perkuatan terhadap beban aksial serta momen lentur. Hasil perhitungan perkuatan geser pada kolom dengan FRP FRC 530 diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan perkuatan geser pada kolom dengan FRP FRC 530

Uraian	ΔV	f_{fu}	ε_{fu}	V_f	A_{fv}	n
	(kip)	(psi)	(in/in')	(kip)	(in ²)	lapis
Kolom podium	6,07	504.928,69	0,21	7,52	7,20E-07	1
Kolom tinggi	0,05	504.928,69	0,21	0,06	6,05E-09	1

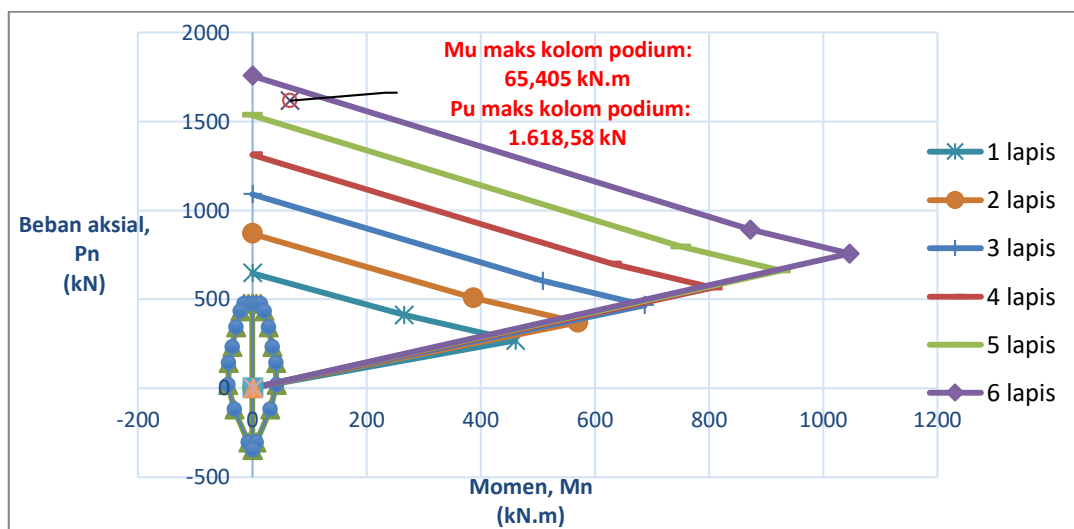
Hasil perhitungan perkuatan terhadap beban aksial dan momen lentur pada kolom dengan FRP FRC 530 diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil perhitungan perkuatan terhadap beban aksial dan momen lentur pada kolom dengan FRP FRC 530

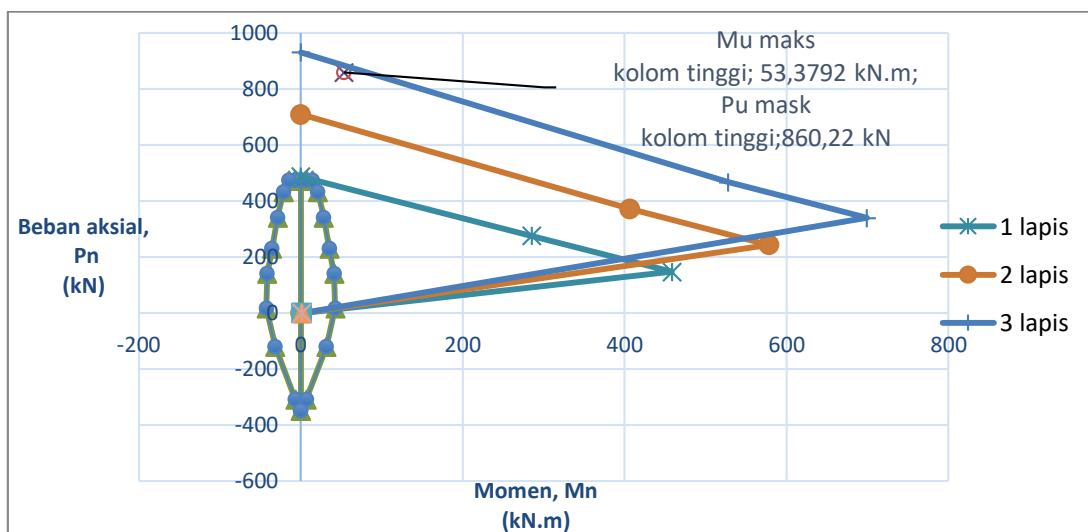
n	$\Phi P_{n(A)}$	$\Phi M_{n(A)}$	$\Phi P_{n(B)}$	$\Phi M_{n(B)}$	$\Phi P_{n(C)}$	$\Phi M_{n(C)}$
-----	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

	lapis	kN	kN-m	kN	kN-m	kN	kN-m
Kolom podium	1	647,25	0	411,00	266,09	267,49	461,03
	2	869,44	0	508,13	387,09	369,09	570,70
	3	1091,62	0	604,34	508,34	467,07	687,29
	4	1313,80	0	700,29	629,66	563,96	806,08
	5	1535,99	0	796,12	751,01	660,38	925,84
	6	1758,17	0	891,89	872,39	756,55	1046,12
Kolom tinggi	1	487,31	0	276,41	285,01	147,74	458,30
	2	709,50	0	372,14	406,40	243,97	578,35
	3	931,68	0	467,82	527,80	339,82	699,28

Selanjutnya, perhitungan perkuatan terhadap beban aksial dan momen lentur dilakukan, kemudian digambarkan diagram interaksi yang disederhanakan berdasarkan hasil perhitungan. Diagram interaksi ini kemudian dibandingkan dengan diagram interaksi kolom sebelum diperkuat dengan FRP.



Gambar 3. Diagram interaksi perbandingan antara kolom podium sebelum diperkuat dan setelah diperkuat dengan FRP



Gambar 4. Diagram interaksi perbandingan antara kolom tinggi sebelum diperkuat dan setelah diperkuat dengan FRP

5.2. Concrete Jacketing

Pada Tabel 7 diperlihatkan hasil perhitungan perkuatan *concrete jacketing*.

Tabel 7. Hasil perhitungan perkuatan dengan *concrete jacketing*

Kolom	A'c	A's	Ac	As	Pn	Tebal jaket dipakai	Tulangan utama tambahan	Ø sengkang	Jarak sengkang
	(in ²)	(in ²)	(in ²)	(in ²)	(kN)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Kolom podium	31.4	678,24	47.1	904,32	2.074,40	150	8 D16	8	89,91
Kolom tinggi	31.4	678,24	47.1	904,32	1.878,90	150	8 D16	8	89,91

Berdasarkan perhitungan di atas diketahui bahwa untuk memenuhi syarat kapasitas beban aksial, momen lentur dan geser, kolom podium membutuhkan 6 lapis FRP FRC 530 dengan total tebal 1,758 mm. Pada sisi yang lain, kolom tinggi membutuhkan 3 lapis FRP FRC 530 dengan total tebal 0,879 mm. Perbaikan dengan *concrete jacketing* untuk kolom tinggi maupun kolom podium memerlukan beton setebal 15 cm dengan tulangan utama 8 D16 mm serta dengan tulangan sengkang Ø8-75mm. Berdasarkan segi kekuatan kedua metode ini mampu memberikan dampak yang cukup signifikan. Dengan metode pemasangan FRP, kolom podium sebelum diperbaiki memiliki Pn maksimum sebesar 475,10 kN dan Mn maksimum sebesar 42,48 kN.m. Setelah dihitung menggunakan 6 lapis FRP maka nilai Pn maksimum menjadi 1.758,17 kN dan Mn maksimum menjadi 1.046,12 kN.m. Untuk kolom tinggi sebelum diperbaiki memiliki Pn maksimum 475,10 kN dan Mn maksimum sebesar 42,48 kN.m. Setelah dihitung menggunakan 3 lapis FRP maka nilai Pn maksimum menjadi 931,68 kN dan Mn maksimum sebesar 699,28 kN.m. Perbaikan dengan metode *concrete jacketing* untuk kolom podium mampu meningkatkan kapasitas beban aksial menjadi 2.074,40 kN. Untuk kolom tinggi setelah diperbaiki menggunakan metode *concrete jacketing* memiliki Pn maksimum 1.878,90. Jika dilihat dari sisi kegunaan bangunan sebagai pasar, maka akan lebih bijak jika memilih perbaikan dengan metode pemasangan FRP karena tebal lapisannya yang jauh lebih tipis daripada *concrete jacketing* sehingga tidak memakan banyak tempat. Apabila ditinjau dari segi keamanan bangunan terhadap gempa, metode *concrete jacketing* akan menambah dimensi beton sehingga akan meningkatkan massa bangunan. Hal ini dapat meningkatkan resiko bangunan terhadap gempa. Lain halnya dengan perbaikan dengan FRP yang minim terhadap penambahan massa bangunan. Selain itu, metode perbaikan pemasangan FRP lebih ramah lingkungan daripada *concrete jacketing*.

6. KESIMPULAN

Berdasarkan penjabaran di atas, maka dapat disimpulkan:

- Perbaikan pada kolom podium dibutuhkan 6 lapis FRC 530 untuk memenuhi kebutuhan kapasitas beban Pu dan Mu.
- Perbaikan pada kolom tinggi diperlukan 3 lapis FRC 530 untuk memenuhi kebutuhan kapasitas beban Pu dan Mu.
- Perbaikan menggunakan metode *concrete jacketing* untuk kolom podium dan kolom tinggi dengan tebal jaket 150 mm, tulangan utama 8 D16 dan sengkang Ø8 – 75 mampu meningkatkan kapasitas beban aksial menjadi 2.074,40 kN untuk kolom podium dan 1.878,90kN untuk kolom tinggi.
- Perbaikan pada kolom struktur pasca kebakaran dimungkinkan menggunakan kombinasi kedua metode tersebut.
- Kedua metode perbaikan tersebut dilaksanakan dengan tujuan untuk meminimalkan intervensi terhadap penanganan kerusakan bangunan yang termasuk sebagai cagar budaya. Minimal intervensi merupakan salah satu bentuk implementasi konstruksi berkelanjutan agar *value* nilai kecabarbudayaan pada bangunan tersebut tetap terjaga.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada ERTIM Conservation Institute atas kontribusi-nya yang sangat besar dalam dukungan data dan diskusi dalam penelitian ini.

PUSTAKA

- ACI 440.2R-08. 2008: *Guide for The Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*.
- Ahmad, I. A., Nur A. S. T., dan Abdul H.A. 2009: Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil* 16 (2), 63-70.
- Alcoer, S. M., dan Jirsa O. J. 1991: *Reinforced Concrete Frame Connection Rehabilitated by Jacketing*. National Science Foundation. PMF Report 91-1.
- Bilow, D. N dan Mahmoud E. K. 2008: Fire and Concrete Structure. *ASCE Structures 2008, Crossing Borders*.

- Burgoyne, C. 2009: Fibre Reinforced Polymers - Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats. *Proceedings of the Ninth International Symposium of the Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures. (FRPRCS)*, Sydney. Australia.
- Concrete Society. Assessment, Design and Repair of Fire-Damaged Concrete Structures. The Concrete Society, Camberley, 2008, technical report 68. Dalam Ingham, J. (2009): Forensic Engineering of Fire-Damaged Structures. *Proceeding of ICE Civil Engineering*, 162, 12-17.
- Fosroc. Nitowrap FRC, (Online), (<http://www.fosroc.com/assets/productDatasheets/TDS-Nitowrap-FRC-Saudi-Arabia.pdf>, diakses 8 Maret 2018).
- IS 15988. 2013: *Seismic Evaluation and Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings - Guidelines*. Indian Standard.
- ITU. 2012: *Sustainable Buildings*.
- Julio, E. S., Branco, F., dan Silva, V.D. 2003: Structural Rehabilitation of Columns with Reinforced Concrete Jacketing. *Program Structure Engineering Material*, 5, 29-37.
- Obaidat, Y. T. 2010: *Structural Retrofitting of Reinforced Concrete Beams Using Carbon Fibre Reinforced Polymer*. Ph.D. Dissertation of Lund University. ISRN LUTVDG/TVSM--10/3070--SE (1-76) ISSN 0281-6679.
- Okakpu, A. I. 2013: *Evaluation and Comparison of Strengthening Methods to Deliver a Safe, Efficient and Economical Solution*. Master Thesis. Eastern Mediterranean University. Gazimağusa. North Cyprus.
- Rahimi, H., dan Hutchinson, A. 2001: Concrete Beams Strengthened with Externally Bonded FRP Plates. *Journal of Composites for Construction*. 5 (1), 44-56.
- Rochman, A. 2006: Gedung Pasca Bakar Estimasi Kekuatan Sisa dan Teknologi Perbaikannya. *Jurnal Dinamika Teknik Sipil*. 6 (2), 94-100.
- Tjokrodinulyo, K. 2000: Pengujian Mekanik Laboratorium Beton Pasca Bakar, Yogyakarta: Nafri. Dalam Jurnal Ahmad, I.A., Nur A.S.T., dan Abdul H.A. 2009: *Analisis pengaruh temperatur terhadap kuat tekan beton*. Jurnal. Makassar: Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil. 16(2), 63-70.
- Waghmare, S. P. B. 2011: Materials and Jacketing Technique for Retrofitting of Structures. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*. 1 (1), 15-19.
- Zhang, Y. 2012: *Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Beams*. Master Thesis. The Ohio State University. Ohio.

INISIASI KONSTRUKSI HIJAU UNTUK PROYEK GEDUNG DI INDONESIA

Wulfram I. Ervianto¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Jl. Babarsari No. 44 Yogyakarta

Telp. (0274) 487711

E-mail: ervianto@staff.uajy.ac.id

ABSTRAK

Isu lingkungan yang dituangkan dalam pembangunan berkelanjutan harus ditindak lanjuti di berbagai sektor di Indonesia salah satunya adalah sektor konstruksi. Isu yang digulirkan sejak tahun 1992 telah ditindaklanjuti dalam konferensi Bali yang menghasilkan kesepakatan penurunan emisi secara sukarela oleh berbagai negara termasuk Indonesia. Hal ini ditindaklanjuti dalam Rencana Aksi Nasional Gas Rumah Kaca sebagai skenario untuk memenuhi komitmen. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat merespon positif melalui dokumen Rencana Aksi Nasional Mitigasi Adaptasi Perubahan Iklim. Implementasi di sektor konstruksi dengan menerapkan konsep pembangunan berkelanjutan yang mencakup aspek sosial, ekonomi dan lingkungan. Salah satu agendanya adalah pengelolaan bangunan hemat energi dan ramah lingkungan. Di sisi lain, terjadi kecenderungan peningkatan nilai konstruksi secara signifikan sehingga perlu diterapkan pendekatan ramah lingkungan. Salah satunya dikembangkan oleh lembaga swasta nirlaba Green Building Council Indonesia, sedangkan khusus tahap konstruksi dikembangkan model *assessment green construction* yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja kontraktor.

Kata Kunci: Konstruksi Hijau, Proyek Gedung, Indonesia.

1. PENDAHULUAN

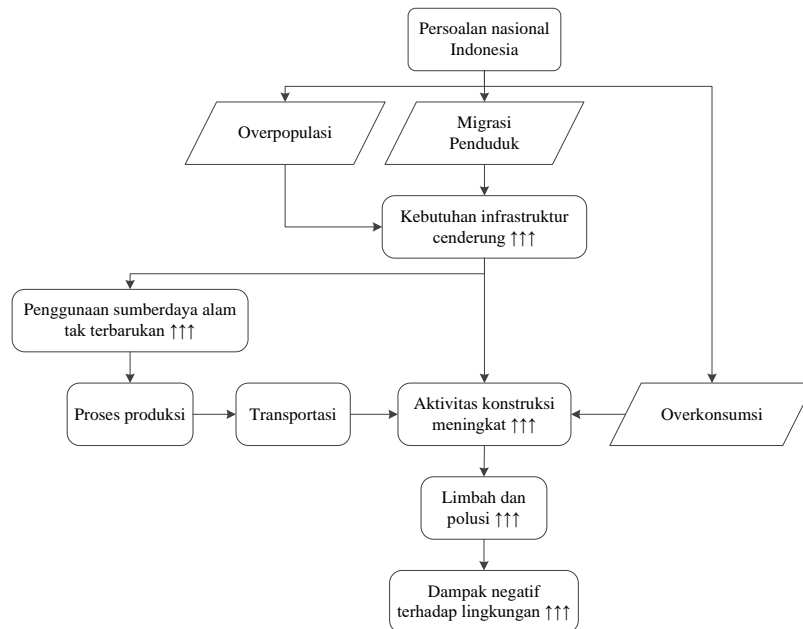
Pada tahun 1992 telah diselenggarakan Konferensi Lingkungan dan Pembangunan yang dilanjutkan dengan Konferensi Tingkat Tinggi (KTT) Bumi yang dihadiri oleh 179 negara sebagai tanggapan terhadap permasalahan kondisi lingkungan hidup dan sumber daya alam yang memprihatinkan. Beberapa hal yang menjadi permasalahan adalah pencemaran, kerusakan lingkungan hidup serta pemborosan sumber daya alam yang berlangsung secara global. Dalam KTT ini dihasilkan Deklarasi Rio, Agenda 21, *Forests Principles* dan Konvensi Perubahan Iklim (*Climate Change*) dan Keanekaragaman Hayati (*Biodiversity*). KTT Bumi juga menghasilkan konsep pembangunan berkelanjutan yang mengandung tiga pilar utama yang saling terkait yaitu pembangunan ekonomi, pembangunan sosial dan pelestarian lingkungan hidup. Dalam pertemuan ini telah disepakati bersama untuk melaksanakan suatu pola pembangunan baru yang diterapkan secara global yang disebut dengan *Environmentally Sound and Sustainable Development* (ESSD), di Indonesia dikenal dengan Pembangunan Berkelanjutan yang Berwawasan Lingkungan (PBBL) yang didefinisikan sebagai “Pembangunan untuk memenuhi kebutuhan masa sekarang tanpa mengurangi kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhannya”. Konsep ini mempertimbangkan keseimbangan antara kepentingan ekonomi, lingkungan dan sosial. Dalam aspek sosial mencakup pengentasan kemiskinan, pemberdayaan masyarakat, peran serta masyarakat, dan pembinaan kelembagaan. Aspek ekonomi mencakup pertumbuhan, pemerataan, eko-efisiensi dan stabilitas ekonomi. Aspek lingkungan meliputi pengelolaan dan pelestarian lingkungan hidup dan sumberdaya alam serta pencegahan pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup dan sumberdaya alam (Choesin dkk, 1999).

Secara global, Indonesia berada di urutan ke lima dalam menghasilkan emisi gas rumah kaca atau sekitar 4,63% (*World Resources Institute*, 2005). Dalam Konferensi Tingkat Tinggi ke-13 tentang Perubahan Iklim Perserikatan Bangsa Bangsa (PBB) yang diselenggarakan di Bali pada bulan Desember 2007, Indonesia sepakat untuk menurunkan konsentrasi CO₂ di udara sebesar 26%-41% di akhir tahun 2020 dan disepakati tentang “peta jalur hijau” dengan pola pembangunan abad ke-21 yang berkarbon rendah. Terlepas dari desakan internasional, Indonesia seharusnya tidak fokus hanya untuk menurunkan konsentrasi CO₂ namun tetap melanjutkan aktivitas industri konstruksi menggunakan cara yang memperhatikan lingkungan untuk menyediakan ruang untuk hidup layak bagi generasi mendatang.

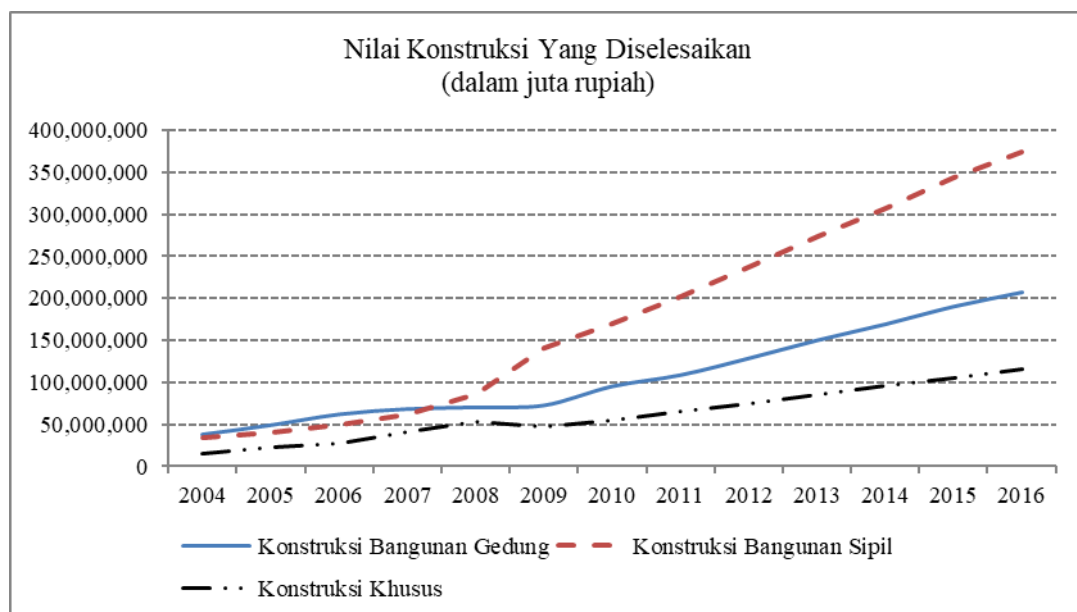
Kesepakatan yang telah dijanjikan oleh pemerintah Indonesia terhadap dunia internasional adalah menurunkan emisi gas rumah kaca 26% di akhir tahun 2020. Untuk itu, perlu dilakukan kajian terhadap upaya pemerintah yang telah dilakukan untuk memenuhi kesepakatan tersebut sebagai bentuk tanggung jawab pemerintah Indonesia khususnya dalam sektor konstruksi. Lebih spesifik diperlukan sistem asesmen untuk mengevaluasi kinerja kontraktor dalam membangun berbagai infrastruktur. Konseptual *framework* yang dibangun didasarkan pada fenomena jumlah penduduk, migrasi penduduk, dan penggunaan sumberdaya alam terhadap konstruksi (gambar 1). Rangkaian peristiwa yang menyebabkan meningkatnya dampak negatif bagi lingkungan di sektor konstruksi diawali adanya peningkatan infrastruktur di Indonesia, yang dinyatakan dalam nilai konstruksi yang diselesaikan

(gambar 2). Dengan demikian, dua fenomena tersebut diatas jika tidak dikelola secara baik akan menimbulkan dampak yang signifikan bagi lingkungan lokal yang berdampak dalam skala global. Oleh karenanya diperlukan pendekatan baru yang spesifik mampu mengakomodasi kedua hal tersebut diatas.

Tujuan dalam kajian ini adalah memformulasikan tindakan yang tepat untuk mengawali proses konstruksi yang lebih baik guna mengurangi dampak negatif bagi lingkungan, berupa polusi udara yang dinyatakan dalam banyak sedikitnya emisi dalam CO₂ ekivalen dan volume limbah yang dihasilkan selama proses konstruksi.



Gambar 1. Kerangka pikir



Sumber: BPS, 2017.

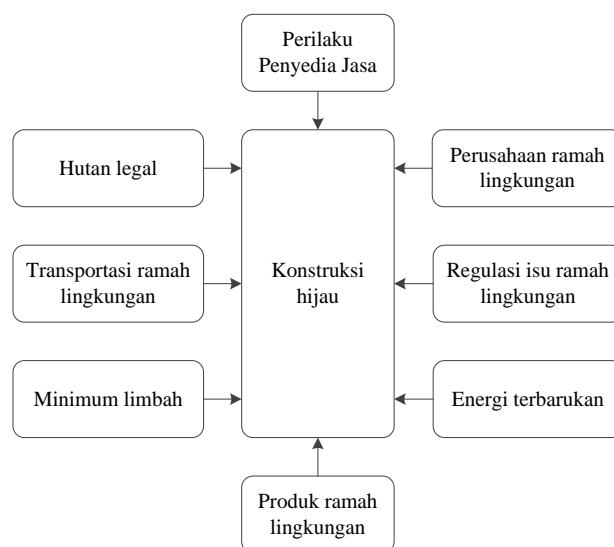
Gambar 2. Nilai konstruksi yang diselesaikan di Indonesia

2. PUSTAKA DAN ANALISIS

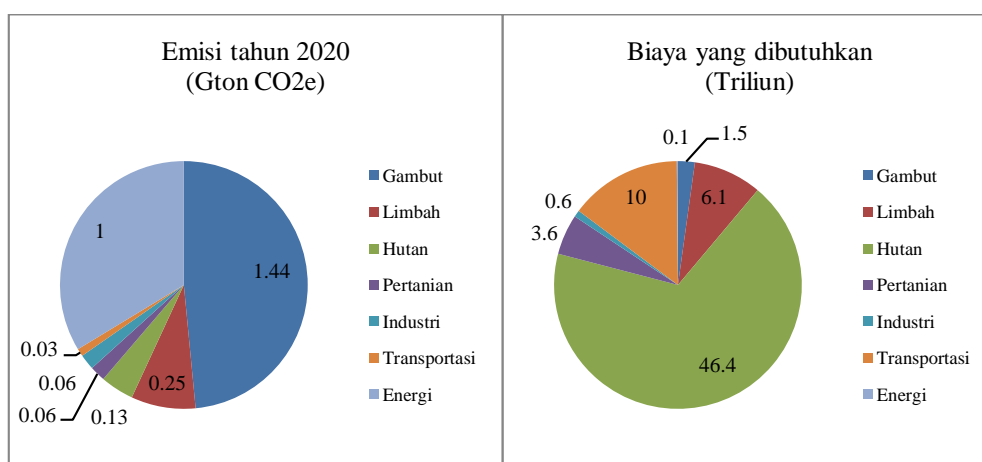
Konstruksi hijau (*green construction*) didefinisikan sebagai “Suatu perencanaan dan pelaksanaan proses konstruksi untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan agar tercipta keseimbangan antara daya

dukung lingkungan dengan kebutuhan proses atau kegiatan konstruksi di masa mendatang” (Ervianto, W.I., 2016). Isu tentang konstruksi hijau di Indonesia diawali dengan memformulasikan pengetahuan ramah lingkungan khususnya untuk proyek gedung yang selanjutnya disusun instrumen penilainya. Komponen lain yang ikut memberikan kontribusi dalam konstruksi hijau adalah regulasi tentang isu ramah lingkungan, energi terbarukan, produk ramah lingkungan, meminimalkan limbah, transportasi ramah lingkungan, penggunaan kayu yang dipanen dari hutan yang legal, dan perilaku penyedia jasa (gambar 3). Selain itu, konstruksi bersinggungan erat dengan berbagai sektor kehutanan, limbah, industri, transportasi, dan energi yang masing-masing menimbulkan emisi yang ditakar dalam CO₂ ekuivalen. Biaya yang diperlukan untuk mengelola emisi sangat beragam yang dipengaruhi oleh banyak faktor (gambar 4).

Dokumen yang mendukung tentang isu berkelanjutan di Indonesia adalah Green Building Council Indonesia yang dapat digunakan untuk memulai isu berkelanjutan yang mencakup beberapa hal, yaitu : penggunaan hutan yang legal, transportasi ramah lingkungan, pengelolaan limbah, energi terbarukan (Gambar 3). Di tingkat praktis, sektor konstruksi masih belum sepenuhnya dapat diterapkan karena berbagai persoalan, diantaranya teknologi ramah lingkungan dan adanya peningkatan biaya konstruksi jika mengadopsi prinsip ramah lingkungan sepenuhnya.



Gambar 3. Komponen input dalam konstruksi hijau



sumber: Parikesit, D., 2012

Gambar 4. Penurunan emisi CO₂ dan biaya yang dibutuhkan sampai dengan tahun 2020

Tabel 1. Biaya pengelolaan emisi CO₂ di Indonesia dalam berbagai sektor

No.	Sektor	Volume	Biaya	Biaya/Gton
1	Hutan	0,13 Gton CO ₂	Rp. 46,4 triliun	Rp. 396,9 triliun/Gton
2	Transportasi	0,03 Gton CO ₂	Rp. 10,0 triliun	Rp. 333,3 triliun/Gton
3	Limbah	0,25 Gton CO ₂	Rp. 6,10 triliun	Rp. 24,4 triliun/Gton
4	Industri	0,06 Gton CO ₂	Rp. 0,60 triliun	Rp. 10,0 triliun/Gton
5	Energi	1,00 Gton CO ₂	Rp. 0,60 triliun	Rp. 0,6 triliun/Gton

Sektor yang terkait langsung dengan konstruksi adalah hutan untuk menyediakan kayu dalam proyek konstruksi yang membutuhkan biaya pengelolaan emisi sebesar 396,9 triliun/G ton emisi CO₂ ekuivalen. Indonesia, khususnya di pulau Jawa mempunyai hutan tropis seluas ± 98 juta hektar dan merupakan 40 % hutan tropis di dunia (Yudhanto, 2011). Persoalan penggunaan kayu dalam sektor konstruksi menjadi fokus penting mengingat degradasi hutan terus terjadi yang disebabkan karena beberapa hal sebagai berikut: (a) alih fungsi hutan menjadi lahan pertanian dan pemukiman, (b) penebangan hutan tidak terkendali, (c) Penebangan liar, (d) Kebakaran hutan. Sudah saatnya dalam sektor konstruksi mensyaratkan penggunaan kayu yang dipetik dari hutan legal yang dibuktikan dengan adanya sertifikat.

Sektor transportasi, setiap material konstruksi tidak terlepas dari proses pemindahan sumberdaya dari satu tempat ke tempat lain dimana jarak antara lokasi proyek dengan lokasi pengambilan sumberdaya/material sangat beragam bahkan dimungkinkan lintas pulau. Persoalan ini terkait dengan *supply chain* material konstruksi. Selain itu, persoalan kemacetan di perjalanan ikut menyumbang peningkatan terjadinya emisi CO₂ akibat proses transportasi. Beberapa data terkait kemacetan di berbagai kota di Indonesia diperlihatkan dalam tabel 2.

Tabel 2. Emisi CO₂ akibat kemacetan di jalan raya untuk satu kendaraan

No.	Kota	Kemacetan Jam/tahun	Konsumsi Bahan bakar/jam	Konversi bahan bakar diesel (kg. CO ₂ /liter)	Emisi CO ₂ (kg)
1	Jakarta	63	7 s/d 10 liter	2,66	1.173,05 s/d 1.675,8
2	Bandung	46	7 s/d 10 liter	2,66	856,52 s/d 1.223,6
3	Padang	45	7 s/d 10 liter	2,66	837,90 s/d 1.197,0
4	Yogyakarta	45	7 s/d 10 liter	2,66	837,90 s/d 1.197,0
5	Malang	45	7 s/d 10 liter	2,66	837,90 s/d 1.197,0
6	Medan	42	7 s/d 10 liter	2,66	782,40 s/d 1.117,2
7	Pontianak	40	7 s/d 10 liter	2,66	744,80 s/d 1.064,0
8	Semarang	37	7 s/d 10 liter	2,66	688,94 s/d 984,2
9	Surabaya	37	7 s/d 10 liter	2,66	688,94 s/d 984,2
10	Denpasar	30	7 s/d 10 liter	2,66	558,60 s/d 798,0

Sumber BPS, 2016.

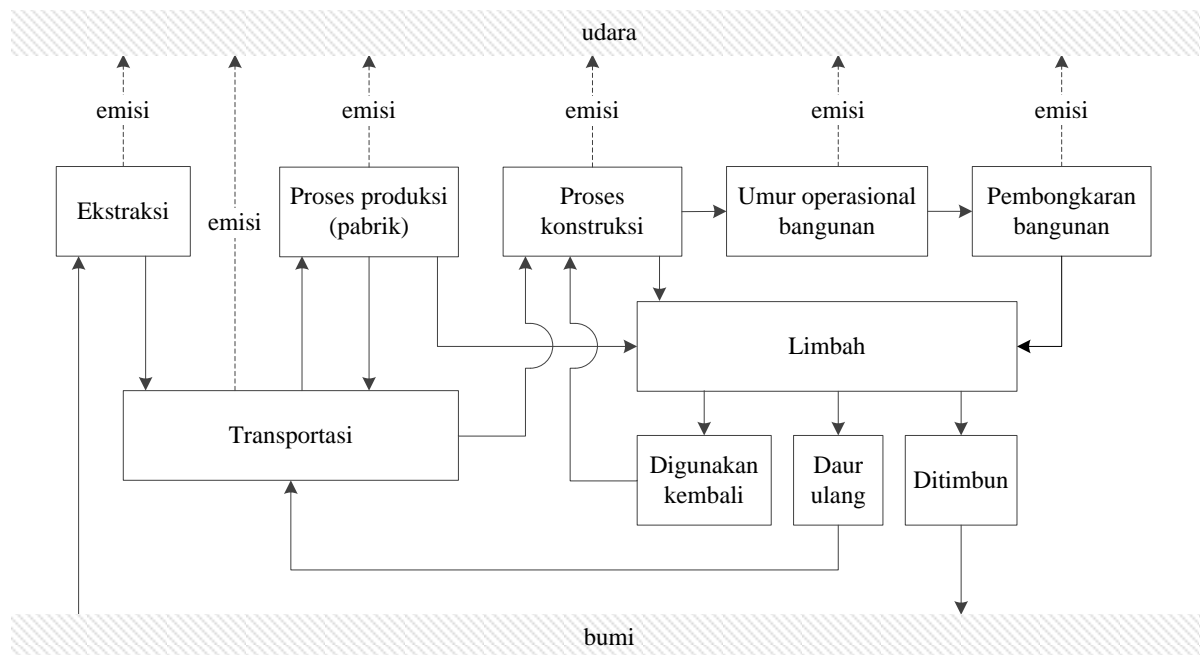
Sektor limbah, proses konstruksi cenderung menghasilkan limbah dimana volumenya sangat beragam yang dipengaruhi oleh banyak faktor, misalnya perencanaan metoda konstruksi yang kurang sempurna, keterbatasan ketersediaan alat, pengetahuan pekerja dan lain sebagainya. Salah satu informasi mengenai timbulnya limbah berdasarkan kategori dinyatakan oleh Hettiaratchi didominasi oleh pekerjaan beton dan kayu (tabel 3). Adanya informasi mengenai limbah terutama yang berasal dari material tak terbarukan maka perlu pengelolaan khusus agar dapat dimanfaatkan secara optimal, antara lain dengan menerapkan prinsip *reduce, reuse, recycle* (3R).

Selain persoalan limbah, ada hal lain yang perlu mendapatkan perhatian yaitu persoalan emisi sejak proses ekstraksi material hingga pembongkaran bangunan (gambar 5). Timbulnya emisi sepanjang proses konstruksi perlu mendapatkan perhatian khusus, mengingat emisi yang dihasilkan bersifat lokal namun berdampak global. Persoalan ini dapat menyebabkan perdebatan disebabkan karena emisi di suatu negara dapat berpindah ke negara lain.

Tabel 3. Sumber dan persentase limbah konstruksi

Kategorisasi limbah	Spencer,1991 (%)	Bossink & Browsers, 1996 (%)	AEP, 1995 (%)	Hill,1992 (%)
1. Beton	46	13	-	70
2. Logam	5	-	7	6
3. Kayu	26	-	35	13
4. Tiang pancang beton/kayu	-	17	-	-
5. Clay bricks	-	17	-	-
6. Clay roof	-	10	-	-
7. Mortar semen	-	8	-	-
8. Agregat keramik	-	-	24	-
9. Gypsum	-	-	17	-
10. Kaca	-	-	3	-
11. Plastik	-	-	2	-
12. Lain-lain	9	2	4	3

sumber: Hettiaratchi, 2004.

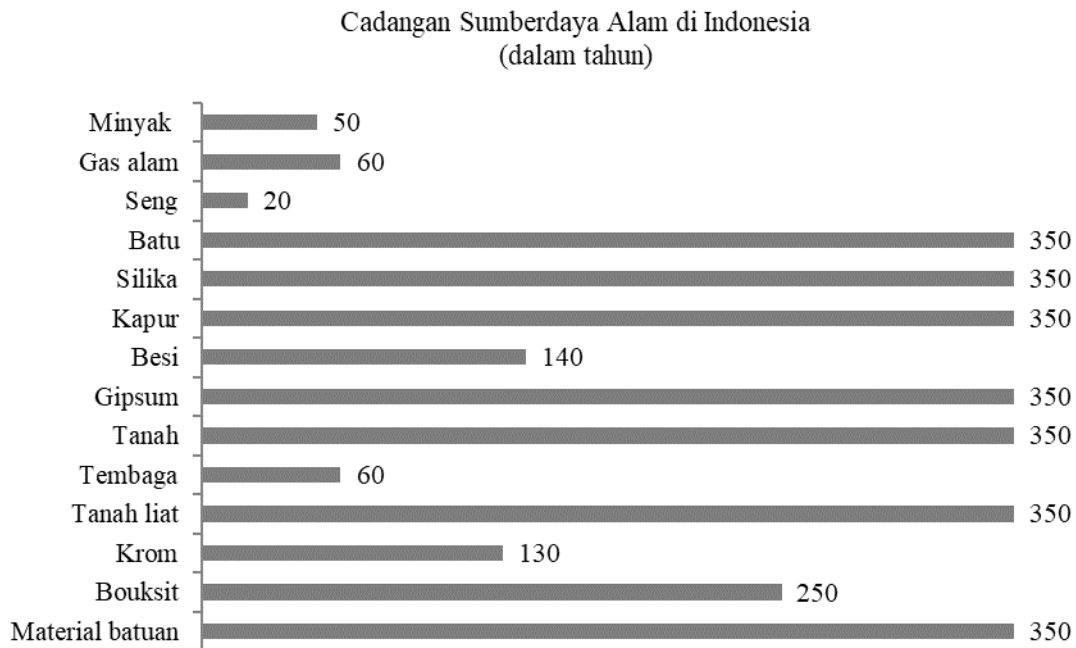


Gambar 5. Tahapan proses penghasil emisi dalam proyek konstruksi

Sektor industri, peran sektor ini relatif signifikan mengingat bangunan gedung didominasi oleh material hasil proses industri. Namun tidak semua jenis material yang digunakan dalam proyek konstruksi bersifat kekal tetapi terbatas (misal minyak, seng, dan besi) sebelum ditemukan sumber baru (gambar 4). Sektor industri berperan sangat penting dalam proses konstruksi, terlebih lagi adanya tren proses konstruksi yang bersifat padat karya sedikit demi sedikit berkembang mengarah pada industri konstruksi yang mengubah proses dari padat karya menjadi industri manufaktur. Hal ini akan berdampak positif bagi industri konstruksi akan manfaat yang diperoleh, yaitu efisien, tepat dimensi, tepat mutu, tepat waktu. Namun dalam perspektif lingkungan yang diukur dalam emisi CO₂ berpotensi memperbesar emisi di udara. Untuk mengantisipasi hal tersebut maka diperlukan perubahan proses menjadi “green product” yang berpotensi terjadinya peningkatan biaya produksi termasuk harga jual produk.

Sektor energi, energi merupakan sumberdaya penting dalam berbagai sektor terlebih adanya isu ketersediaan energi fosil yang relatif singkat. Bagi industri, transisi dari energi fosil menjadi energi terbarukan memerlukan cukup waktu dan relatif tergolong mahal dalam menyediakan infrastruktur pembangkit energi terbarukan. Beberapa riset yang telah dilakukan adalah : (a) energi angin dengan kondisi angin yang baik sekitar 12 sen\$/kWh;

(b) harga energi dari bahan bakar nabati masih tinggi, yaitu 22,2 sen\$/kWh; (c) Untuk pembangkit listrik berbahan bakar gas berkisar antara 400 s/d 800 \$/kWe. (d) Pembangkit listrik tenaga nuklir antara 1600 dan 5900 \$/kWe. (Liun, E., dan Sunardi, 2014).



Sumber : PII, 2010

Gambar 4. Cadangan sumberdaya alam di Indonesia

3. KESIMPULAN

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dalam kajian ini adalah sebagai berikut:

- Pendekatan terbaik yang digunakan untuk mencapai ramah lingkungan dapat dimulai dengan mengadopsi prinsip ramah lingkungan yang diawali dari sektor yang membutuhkan biaya terkecil, yaitu : sektor energi, sektor industri, sektor limbah, sektor transportasi, dan sektor kehutanan.
- Dalam mencapai peringkat tertentu dalam konstruksi hijau untuk gedung perlu mengadopsi indikator dalam *GreenShip* mengingat sistem ini yang digunakan di Indonesia.
- Melakukan edukasi bagi pelaku konstruksi di sektor praktis melalui mekanisme internal kolaborasi antar penyedia jasa yang didasarkan pada kualifikasi perusahaan.

PUSTAKA

1. Badan Pusat Statistik, 2016.
2. Badan Pusat Statistik, 2017.
3. Chandrakanthi.M, Hettiaratchi.P, and Prado. B, 2004. optimation of the waste management for construction project using simulation. Engineering for the environment program, Calgary.
4. Choesin D., Taufikurahman, Esyanti R.: Pengetahuan Lingkungan, Penerbit ITB, Bandung, 2004.
5. Edwaren Liun, Sunardi, Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Volume 16, Nomor 2, Desember 2014
6. Ervianto, W.I., 2016, '*Kajian Awal Penyusunan Instrumen Penilai Jalan Hijau di Indonesia*' Konferensi Nasional Teknik Sipil 10, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, 26-27 Oktober.
7. Parikesit, D., 2012, Peran Jasa Konstruksi Indonesia Mendukung Penerapan Green Road, Workshop Penerapan Green Road di Indonesia Rencana Aksi Jalan Ramah Lingkungan, Pusjatan.
8. Persatuan Insinyur Indonesia, 2010.
9. World Resources Institute, 2005.
10. Yudhanto, 2011, Keanekaragaman Hayati pada Hutan Tropis, Thesis Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2011.

KAJIAN KECUKUPAN INFRASTRUKTUR PARIWISATA DI TORAJA PROVINSI SULAWESI SELATAN

Peter F Kaming¹, Fritswel Ratmadi Payung²

¹Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jalan Babarsari No. 44, Yogyakarta
Telp. (0274) 487711

²Alumni, Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jalan Babarsari No. 44, Yogyakarta
Telp. (0274) 487711

E-mail: kaming@uajy.ac.id, payungfritswell@gmail.com

ABSTRAK

Pariwisata merupakan sektor yang menghasilkan devisa bagi negara dan pemasukan pendapatan daerah sehingga infrastruktur pendukung pariwisata penting untuk diteliti. Tujuan dari penelitian ini untuk menilai sejauh mana kecukupan infrastruktur pariwisata agar dapat mendukung kegiatan pariwisata di provinsi Sulawesi Selatan khususnya di Tana Toraja dan Torja Utara. Instrumen dari penelitian ini menggunakan ASCE report card. Penelitian ini dilakukan dengan menyebar kuisioner, ditujukan kepada wisatawan, pemandu wisata, Dinas Pariwisata, penyedia akomodasi, pengelola pariwisata, penyedia resto, dan kepada para pekerja yang berkaitan dengan bidang pariwisata. Untuk mengetahui kecukupan infrastruktur pariwisata di daerah Toraja digunakan analisis deskriptif. Hasil analisis dari setiap kecukupan infrastruktur di daerah Toraja menunjukkan bahwa, perhotelan yang paling tinggi dengan memperoleh rating 79.56% dengan mendekati grade B. Resto, sarana penjualan, air bersih untuk minum, listrik, dan telekomunikasi memiliki nilai rating cukup dengan nilai C, Toilet/MCK umum, sarana kesehatan, transportasi, tempat rekreasi dan sarana olahraga, tempat buangan sampah di objek wisata, bandar udara, terminal masih memiliki rating buruk dengan grade D.

Kata Kunci: Infrastruktur pariwisata, rating, kecukupan infrastruktur, Toraja, Sulawesi Selatan.

1. PENDAHULUAN

Dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi di Indonesia disertai dengan permasalahan di sisi infrastruktur tentu menempatkan pengembangan infrastruktur pada prioritas utama. Salah satu sektor yang perlu diperhatikan adalah infrastruktur pariwisata. Pariwisata merupakan aspek yang penting dalam suatu wilayah yang bila dikembangkan dengan baik akan menjadi potensi pendapatan daerah tersebut. Indonesia memiliki potensi yang sangat besar dalam bidang pariwisata dilihat dari kekayaan dan budaya dan keberagaman suku dari sabang sampai merauke. Salah satu contohnya yaitu Provinsi Sulawesi Selatan yang memiliki banyak obyek wisata budaya dan wisata alam yang menarik. Pariwisata adalah salah satu sektor yang diunggulkan di Provinsi Sulawesi Selatan, menurut Dinas Kebudayaan dan Pariwisata Provinsi Sulawesi Selatan, setiap tahunnya Sulawesi Selatan selalu di banjiri wisatawan domestik dan mancanegara, dan setiap tahunnya terus meningkat. Berbagai macam pariwisata disediakan untuk menarik wisatawan salah satu contohnya yaitu di Kabupaten Toraja yang menjadi pariwisata unggulan dari Provinsi Sulawesi Selatan. Dengan banyaknya objek wisata yang disediakan maka perlu dilakukan studi kecukupan infrastruktur pariwisata.

Bagaimana mengetahui kecukupan infrastruktur pariwisata agar dapat mendukung kegiatan pariwisata di Provinsi Sulawesi Selatan khususnya di Kabupaten Toraja. Untuk menilai sampai sejauh mana kecukupan infrastruktur pariwisata agar dapat mendukung kegiatan pariwisata di provinsi Sulawesi Selatan khususnya di Kabupaten Toraja. Manfaat Penelitian adalah 1) sebagai sarana yang dapat digunakan oleh pemerintah daerah maupun pusat untuk mendukung dan mengembangkan kegiatan pariwisata di Provinsi Sulawesi Selatan khususnya di daerah Toraja; dan 2) hasil Studi dapat digunakan oleh pempro Sulawesi Selatan dan pemda Toraja untuk lebih memberi dukungan terhadap pengembangan dalam pembangunan infrastruktur pariwisata.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Infrastruktur Pariwisata

Infrastruktur pariwisata adalah komponen produk wisata daerah, infrastruktur terdiri dari perangkat dasar, bangunan dan institusi pelayanan, yang keberadaannya sangat penting untuk kegiatan ekonomi dan sosial. Infrastruktur dibagi menjadi: 1) teknis, termasuk perangkat dasar dan transportasi, komunikasi, gas, panas, listrik, industri; dan 2) sosial, termasuk perangkat dan lembaga yang berhubungan dengan pendidikan, budaya, ilmu pengetahuan, kesehatan, budaya fisik dan pariwisata, administrasi publik. (Gaworecki., 2003).

“Menurut Yoeti (1985), prasarana (infrastruktur) kepariwisataan adalah semua fasilitas yang memungkinkan agar sarana kepariwisataan dapat hidup dan berkembang sehingga dapat memberikan pelayanan untuk memuaskan kebutuhan wisatawan yang beraneka ragam sehingga wisatawan juga tertarik untuk berkunjung ke suatu tujuan wisata”.

Untuk memajukan suatu tempat wisata maka sarana pariwisata perlu diperhatikan karena dengan sarana yang baik maka akan mendorong minat wisatawan untuk berkunjung. Menurut Inskeep (1991) sarana pariwisata adalah akomodasi, tempat makan dan minum, tempat belanja, dan fasilitas umum di tempat wisata

Sementara Yoeti (1985) menyebutkan bahwa salah satu obyek penawaran dalam pemasaran pariwisata adalah infrastruktur penunjang wisata, antara lain: 1) *Recreative and Sportive Plan* 2) *Residential Tourist Plan*, terdiri dari penginapan/hotel dan tempat makan/restoran 3) Sarana pelengkap atau penunjang kepariwisataan untuk membuat wisatawan dapat lebih lama tinggal di tujuan wisata; 4) Sarana penjualan, berupa toko-toko yang menjual barang-barang souvenir atau benda lain khusus wisatawan; 5) Utilitas, yaitu terkait dengan ketersediaan jaringan air bersih, listrik, drainase, dan sanitasi (tersedianya fasilitas toilet/MCK); 6) Prasarana sosial, seperti sarana pendidikan dan kesehatan; 7) Transportasi, yaitu ketersediaan sarana transportasi (moda kendaraan yang digunakan menuju tempat wisata) dan aksesibilitas (kemudahan mencapai kawasan wisata)

2.2 Infrastruktur Pariwisata di Indonesia

Potensi Indonesia dalam sektor pariwisata sangat besar namun jika dilihat dari prestasi pariwisata Indonesia di tingkat dunia, yaitu hanya menempati peringkat 52 infrastruktur dari 137 negara. Pemerintah Indonesia dewasa ini tengah menggiatkan kembali sektor pariwisata untuk meningkatkan sector perekonomian Indonesia. Lihat WEF (2018).

Infrastruktur adalah penyokong utama sektor pariwisata di negara manapun, termasuk di Indonesia. Dengan adanya investasi pada infrastruktur Indonesia, maka target-target pemerintah di bidang pariwisata bisa dicapai, salah satunya adalah untuk mendatangkan 20 juta wisatawan asing pada tahun 2020 mendatang.

Destinasi pariwisata Indonesia sangat menyebar, infrastruktur yang tersedia masih dianggap kurang memadai untuk mencapai destinasi wisata-wisata tersebut. Bahkan pada banyak destinasi wisata, infrastrukturnya masih tidak mendukung kunjungan wisatawan ke daerah tersebut. Infrastruktur yang memadai akan membantu pemerintah dan masyarakat untuk menggali potensi wisata di suatu daerah secara maksimal.

Meski demikian masih banyak investasi infrastruktur lain yang masih harus mendapat perhatian dan penjaminannya. Sebagai contoh diantaranya adalah jalan raya dan akomodasi pariwisata. Jika diperhatikan, destinasi wisata yang telah memiliki sistem transportasi dan infrastruktur jalan raya yang baik pada umumnya hanya terdapat di pulau Jawa dan Bali. Itu pun tidak semua tersedia pada lokasi wisata, banyak juga yang masih memiliki akses jalan yang buruk dan minim transportasi. Hal yang sama pun berlaku bagi obyek wisata di luar pulau Jawa dan Bali.

Sesungguhnya, semangat pemerintah dalam menggenjot sektor pariwisata di Indonesia telah mendapat dukungan dari kalangan pebisnis di Indonesia. Mereka mau berinvestasi asalkan investasi mereka terjamin dan dilindungi pemerintah. Oleh sebab itu, kini adalah tugas pemerintah dan masyarakat untuk bahu membahu membuat lokasi-lokasi wisata di Nusantara menjadi lebih menarik dan disukai wisatawan. (Sumber: <http://www.bkpm.go.id/id/artikel-investasi/readmore/pembangunan-infrastruktur-sebagai-kunci-pengembangan-pariwisata>). (accesed juni 2017)

2.3 Infrastruktur Pariwisata di Sulawesi Selatan

Pariwisata adalah salah satu sektor yang terus digalakkan oleh pemerintah pusat dan daerah. Slogan “Visit Indonesia” atau “Visit South Sulawesi” dan lainnya dibuat sebagai tanda mengundang wisatawan mancanegara untuk berkunjung ke Indonesia khususnya Sulawesi Selatan. Setiap tahunnya Toraja difokuskan pemerintah Sulsel sebagai daerah tujuan utama wisata terutama pada setiap bulan Desember.

Menurut Dinas Kebudayaan dan Pariwisata Provinsi Sulawesi Selatan, setiap tahunnya Sulawesi Selatan selalu dibanjiri wisatawan domestik dan mancanegara. Setiap tahun pula wisatawan mancanegara yang datang selalu mengalami peningkatan. Data 2014 menunjukkan bahwa ada kecenderungan meningkat kunjungan wisatawan mancanegara naik 42 persen. Hal ini perlu diapresiasi akan pariwisata Sulawesi Selatan yang mampu menyedot banyaknya wisatawan tersebut. Berbagai macam jenis pariwisata Sulawesi Selatan seperti: wisata kuliner/belanja, wisata alam (Takabonerate, Bira, Bantimurung, dll) wisata budaya (Toraja), dan lain sebagainya menjadi kekayaan provinsi ini dari berbagai sudut kabupaten/kota.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Data Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan pengumpulan data dengan teknik survei primer. Literatur pendukung bersumber dari dokumen pemerintah, penelitian terdahulu, artikel reportase, internet dan lain sebagainya yang dapat mendukung proses analisa dalam penelitian ini. Data yang diperlukan pada umumnya berupa gambaran umum pariwisata di Provinsi Sulawesi Selatan secara umum. Sedangkan survei primer dilakukan dengan pengamatan lapangan untuk mengetahui kondisi lapangan yang berkaitan dengan gambaran umum wilayah, khususnya karakteristik kondisi infrastruktur pariwisata.

3.2 Sistem Penilaian

Rating pemberian nilai kecukupan infrastruktur Pariwisata di Provinsi Sulawesi Selatan ini terdiri dari 5 gradasi, yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Skala Rating untuk Mengukur Kecukupan Infrastruktur.

Grade	% Rating	Istilah Grade	Definisi
A	90-100	Baik Sekali	Infrastruktur memenuhi tujuan dan kebutuhan saat ini dan mengantisipasi mendatang.
B	80-89	Baik	Kebutuhan kecil dibutuhkan agar infrastruktur memenuhi tujuan dan saat ini dan mengantisipasi mendatang.
C	70-79	Cukup	Perubahan besar dibutuhkan agar infrastruktur memenuhi tujuan dan mengantisipasi mendatang.
D	51-69	Buruk	Perubahan mendasar dibutuhkan agar infrastruktur memenuhi tujuan saat ini dan mengantisipasi mendatang.
E	<50	Buruk Sekali	Infrastruktur tidak memadai untuk memenuhi tujuan dan kebutuhan saat ini.

Sumber : ASCE (2015)

3.3 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dilakukan dengan cara observasi langsung yaitu dengan cara menyebarkan kuisioner kepada wisatawan mancanegara, wisatawan domestik, Tour Guide, Dinas Pariwisata, Penyedia akomodasi, pengelola pariwisata, Jasa Konsultan Pariwisata, Jasa Makanan dan Minuman, dan kepada pekerja yang berkaitan dengan bidang pariwisata. Kuisioner berisi tentang pernyataan kuisioner yang meliputi :

1. Pengantar yang berisi topik penelitian, tujuan penelitian, dan ucapan terima kasih kepada responden.
2. Data Umum responden, yang berisi nama, jenis kelamin, Asal, Pendidikan, dan pekerjaan
3. Pertanyaan yang khusus ditujukan untuk wisatawan, yang berisi pengalaman wisata yang anda rasakan dalam mengunjungi lokasi wisata, Sudah berapakah anda berkunjung ke Toraja, Tempat wisata yang pernah dikunjungi di Sulawesi Selatan, dan sambutan masyarakat terhadap wisatawan.
4. Data penilaian responden, berisi penilaian dari responden untuk menilai kecukupan infrastruktur Pariwisata di daerah kabupaten Toraja.

3.4 Metode Analisis Data and Alat

Setelah seluruh data dari responden diperoleh, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisis data. Analisis yang digunakan adalah analisis deskriptif dengan menghitung mean, standar deviasi, dan rating. Untuk mempermudah dalam melakukan analisis data yang diperoleh, maka penulis menggunakan statistic deskriptif.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Umum Responden

Penelitian ini berhasil mendapat 45 responden. Kuesioner ini diberikan langsung kepada responden, tujuannya agar dapat mempermudah responden dalam mengisi kuesioner jika menemui hal yang kurang jelas dengan menanyakan langsung kepada peneliti. Dalam 45 responden dalam penelitian ini, umur responden dikelompokkan menjadi 3 kelompok, yaitu: 1 responden ≤ 20 tahun, 23 responden 20–40 tahun, dan 21 responden ≥ 40 tahun. Pendidikan formal yang pernah dijalani responden pada penelitian ini yang berjumlah 45 orang dikelompokkan menjadi 5 kelompok, yaitu : SLTP = 3, SLTA = 8, D3 = 4, S1 = 24, dan S2 = 6. Pekerjaan responden dalam penelitian ini berkaitan dengan bidang pariwisata dan dikelompokkan menjadi 8 kelompok, yaitu : Penyedia akomodasi = 6, Pengelola tempat wisata = 5, Jasa konsultan pariwisata tidak ada, Jasa makanan dan minuman = 3, Dinas pariwisata = 17, Pemandu wisata = 2, Wisatawan = 12.

4.2 Respon dari Wisatawan

Dalam penelitian ini juga diberikan pertanyaan khusus untuk wisatawan baik mancanegara maupun domestik. Responden wisatawan mancanegara berjumlah 8 orang dan wisatawan domestik berjumlah 4 orang. Wisatawan diberikan pertanyaan tentang bagaimana pengalaman wisata yang dirasakan dalam mengunjungi lokasi wisata di Toraja. Ada 4 pilihan, yaitu : baik sekali = 4, baik = 5, cukup = 2, dan kurang baik = 1 respon.

Dalam penelitian ini wisatawan juga diminta untuk memberikan penilaian tentang bagaimana sambutan masyarakat terhadap wisatawan. Ada 4 pilihan, yaitu: baik sekali = 6, baik = 4, cukup = 2, dan kurang baik tidak ada respon.

4.3 Penilaian Infrastruktur

Ada 13 infrastruktur yang dinilai oleh responden yaitu akomodasi (penginapan/hotel), tempat makan dan minum (rumah makan/restoran/cafe), sarana penjualan (toko-toko yang menjual barang – barang souvenir atau benda – benda lain khusus wisatawan), air bersih untuk minum, listrik, toilet/MCK umum, sarana kesehatan, transportasi (ketersediaan sarana transportasi dan kemudahan mencapai kawasan wisata), tempat rekreasi dan sarana olahraga, tempat buangan sampah di objek wisata, bandar udara (kemudahan akses moda transportasi), terminal (kemudahan akses terminal pada kawasan wisata), dan telekomunikasi (sinyal di lokasi wisata).

Tabel 2 adalah hasil analisis dari responden pada tiap infrastruktur sesuai dengan petunjuk yang sudah ditulis pada skala kecukupan infrastruktur yang berasal dari ASCE tahun 2015. Apada tabel tersebut menyajikan hasil olahan data analisis kecukupan infrastruktur pariwisata di Toraja, Provinsi Sulawesi Selatan dengan menggunakan skala nominal dikonversikan ke skala interval yang datanya berasal dari 45 responden.

Tabel 2. Analisis Kecukupan Infrastruktur di Toraja, Sulawesi Selatan.

Infrastruktur	Mean	Std. Deviasi	Rating %	Grade (Huruf)
Akomodasi (Penginapan/Hotel)	3,98	0,50	79,56	C
Tempat makan dan minum (Rumah makan/Restoran/Cafe)	3,78	0,64	75,56	C
Sarana penjualan (toko – toko yang menjual barang – barang souvenir atau benda -benda lain khusus wisatawan)	3,78	0,70	75,56	C
Air bersih untuk minum	3,56	0,92	71,11	C
Listrik	3,82	0,83	76,44	C
Toilet/MCK umum	2,96	1,07	59,11	D
Sarana kesehatan	3,33	0,80	66,67	D
Transportasi (ketersediaan sarana transportasi dan kemudahan mencapai kawasan wisata)	3,42	0,87	68,44	D
Tempat rekreasi dan sarana olahraga	3,24	0,98	64,89	D
Tempat buangan sampah di objek wisata	2,87	1,18	57,33	D
Bandar udara (kemudahan akses dengan moda transportasi)	2,69	0,92	53,78	D
Terminal (kemudahan akses terminal pada kawasan wisata)	2,91	0,95	58,22	D
Telekomunikasi (Sinyal di lokasi wisata)	3,80	0,84	76,00	C

4.4 Review Infrastruktur

Review dari infrastruktur pariwisata yang diteliti memberikan gambaran keadaan infrastruktur tersebut pada saat ini. Data diambil dari berbagai sumber, internet, surat kabar serta jurnal, hasil wawancara dengan pihak yang terkait dengan bidang pariwisata sehingga bisa melengkapi *review* yang dibuat.

4.4.1 Akomodasi (Penginapan/Hotel)

Akomodasi di Daerah Kabupaten Toraja memiliki *rating* paling tinggi dari semua infrastruktur lain yang mencapai 79.56% dengan mendekati grade B berarti dapat dikatakan bahwa akomodasi di Daerah Kabupaten Toraja masuk dalam kategori cukup. Dari sejumlah responden khususnya wisatawan menilai akomodasi di daerah Kabupaten Toraja sudah baik dilihat dari segi pelayanannya yang baik dan tempatnya yang nyaman. Jumlah penginapan yang ada di Toraja adalah 58, untuk daerah Tana Toraja terdapat 15 penginapan dan daerah Toraja Utara 43 penginapan. Salah satu akomodasi yang menjadi favorit wisatawan yang berkunjung di Daerah Kabupaten Toraja adalah Toraja Misliana Hotel yang berada di daerah Toraja Utara, Toraja Misliana Hotel sudah termasuk dalam kelas/bintang 4 dengan jumlah kamar 96. Dengan adanya sarana akomodasi yang baik, maka akan mendorong wisatawan untuk berkunjung dan menikmati objek dan daya tarik wisata dengan waktu yang relatif lebih lama.



Gambar 1. Toraja Misliana Hotel

4.4.2 Resto (Rumah makan/Restoran/Cafe)

Tempat makan dan minum di Daerah Kabupaten Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 75.56% dengan grade C dan termasuk dalam kategori cukup. Selain tempat menginap untuk wisatawan, pelayanan tempat makan dan minum juga diperlukan dalam suatu tempat wisata. Contohnya rumah makan, Restoran, Cafe, dsb. Hal yang harus diperhatikan dalam penyediaan fasilitas makanan dan minuman antara lain adalah jenis dan variasi makanan yang ditawarkan, tingkat kualitas makanan dan minuman, pelayanan yang diberikan, tingkat harga, tingkat kebersihan, dan hal-hal lain yang dapat menambah selera makan seseorang serta lokasi tempat makannya. Untuk Daerah Kabupaten Toraja terdapat banyak tempat makan dan minum (Rumah makan/Restoran/Cafe) di Kabupaten Daerah Tana Toraja ada 28 tempat makan dan minum, sedangkan di Kabupaten Daerah Toraja Utara terdapat 64 tempat makan dan minum.

4.4.3 Sarana penjualan

Sarana penjualan (toko–toko yang menjual barang – barang souvenir atau benda - benda lain khusus wisatawan) di Daerah Kabupaten Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 75.56% dengan grade C dan termasuk dalam kategori cukup. Ketersediaan Sarana penjualan juga merupakan faktor yang memberi kenyamanan bagi wisatawan, ketersediaan barang-barang yang dijual dan pelayanan yang baik, lokasi yang nyaman serta akses yang baik serta tingkat yang relatif terjangkau merupakan hal yang harus diperhatikan.

Di Kabupaten Toraja terdapat banyak tempat yang menyediakan sarana penjualan souvenir khas Toraja khususnya di tempat wisata, ada banyak pilihan yang disediakan oleh penjual souvenir diantaranya kain tenun, miniatur rumah tongkonan, ukiran toraja, tau-tau, sepur, kaos toraja, dan lain sebagainya. Dari hasil penyebaran kuisioner dengan beberapa wisatawan domestik dan mancanegara sebagian besar sudah merasa puas namun ada beberapa yang merasa kurang disebabkan karena pelayanan dari penjual dirasa kurang karena terkesan cuek saat melayani pembeli.

4.4.4 Air bersih untuk minum

Air bersih untuk minum di Daerah Kabupaten Toraja Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 71.11% dengan grade C dan termasuk dalam kategori cukup. Kebutuhan air bersih untuk minum ini di dapat dari PDAM, air bersih PDAM sudah menjangkau ke sebagian rumah penduduk di kawasan Kabupaten Toraja. Ke depannya dikutip dari MCW news, PDAM Toraja Utara akan memperbaiki kualitas air minum kepada pelanggannya dan pelayanan akan semakin ditingkatkan sedangkan untuk PDAM Tana Toraja proses pendistribusian air ke pelanggan kadang mengalami sedikit kesulitan dikarenakan kondisi daerah yang berbukit-bukit. Dari hasil kuisioner yang disebar, sebagian sudah merasa puas dengan kinerja dan pelayanan PDAM dan menganggap kualitas airnya sudah baik. Dari hasil wawancara dengan Bupati Toraja Utara, pembangunan air bersih sudah selesai dalam tahun ini.

4.4.5 Listrik

Listrik di Daerah Kabupaten Toraja Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 76.44% dengan grade C dan termasuk dalam kategori cukup. Kebutuhan listrik di Kabupaten Toraja Utara dan Tana Toraja sudah terbilang baik khususnya untuk pariwisata, pemerintah Daerah Toraja sudah menyediakan kebutuhan listrik di berbagai objek wisata yang menjadi destinasi favorit bagi para wisatawan. Pemerintah Daerah Toraja juga menata dengan baik penerangan yang ada di objek wisata sehingga dapat menjadi daya tarik bagi wisatawan yang berkunjung khususnya di malam hari. Dari hasil wawancara dengan Bupati Toraja Utara , k ebutuhan listrik ini sudah teratasi khusus untuk pariwisata dan selanjutnya pemerintah akan memfokuskan kebutuhan listrik untuk daerah – daerah pelosok di Toraja yang belum terkena listrik.

4.4.6 Toilet/MCK umum

Toilet/MCK umum di Daerah Kabupaten Toraja Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 59.11% dengan grade D dan termasuk dalam kategori buruk. Kebersihan toilet umum di setiap destinasi wisata merupakan salah satu unsur penting. Saranan itu bahkan dinilai dapat memengaruhi tingkat kunjungan wisata. Hingga kini masih ada pengelola destinasi wisata di Toraja yang belum menyadari pentingnya penyediaan toilet yang layak bagi wisatawan. Dari hasil wawancara dengan Bupati Toraja Utara pemerintah akan menambah jumlah toilet disejumlah titik di Toraja khususnya di tempat wisata.

4.4.7 Sarana kesehatan

Sarana kesehatan di Daerah Kabupaten Toraja Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 66.67% dengan grade D dan termasuk dalam kategori buruk. Dari hasil penyebaran kuisioner, responden menilai sarana kesehatan di Kabupaten Daerah Toraja masih kurang hal ini disebabkan kurangnya jumlah rumah sakit dan masih kurangnya peralatan medis yang dimiliki rumah sakit. Rumah sakit yang tersedia di Tana Toraja berjumlah tiga yaitu RS Fatima Makale, RS Kusta Batuleleng, dan RSUD Lakipadada Tana Toraja. Untuk Kabupaten Toraja Utara hanya tersedia satu rumah sakit yaitu RSU Elim Rantepao. Sisanya untuk sarana kesehatan di Kabupaten Toraja tersedia puskesmas, posyandu, apotek, toko obat, praktek dokter dan dokter gigi, dll.

Berbeda dengan Pemerintah Daerah Toraja khususnya Kabupaten Toraja Utara merasa kurang setuju bila dikatakan sarana kesehatan di Daerah Kabupaten Toraja Utara kurang baik, pemerintah sudah membangun beberapa puskesmas yang siap melayani masyarakat, namun bila masih dikatakan kurang cukup atau kurang memadai pemerintah Daerah akan memperbaiki kekurangan-kekurangan tersebut.

4.4.8 Transportasi

Transportasi di Daerah Kabupaten Toraja Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 68.44 % dengan grade D dan termasuk dalam kategori buruk. Wisatawan yang berkunjung sebagian tidak menggunakan jasa travel sehingga tentunya harus mencari dan memilih alat transportasi sendiri untuk mengunjungi tempat tertentu atau objek-objek wisata di Toraja. Dengan kondisi alam toraja yang didominasi daerah pengunungan maka diperlukan alat transportasi yang tepat dan tentunya nyaman bagi anda. Ada beberapa akomodasi transportasi yang bisa menjadi pilihan ketika berkunjung ke Toraja yang diperoleh dari berbagai sumber antara lain taksi Toraja, sitor, rental mobil, rental motor, angkutan umum dan ojek.

Dari sekian banyak objek wisata yang ada di Toraja ini penulis mengambil lokasi penelitian di beberapa objek saja yakni ke'te' kesu' yang berada di Kabupaten Daerah Toraja Utara dan buntu burake yang berada di Kabupaten Daerah Tana Toraja. Dari hasil pengamatan kondisi jalan menuju kedua objek wisata ini masih kurang baik dan masih banyak jalan yang belum terkena aspal sehingga membuat ketidaknyamanan bagi pengguna jalan, untuk jalan menuju objek wisata ke'te' kesu' jalanan banyak yang berlubang dan jalan masih ada yang berupa batu kerikil sedangkan untuk jalan menuju objek wisata buntu burake masih dalam proses pembangunan jalan sehingga masih ada sebagian jalan yang baru diaspal dan masih berupa batu pecah, kurangnya markah jalan disepanjang jalan menuju objek wisata buntu burake juga merupakan masalah karena dapat membahayakan keselamatan pengendara.

4.4.9 Tempat rekreasi dan sarana olahraga

Tempat rekreasi dan sarana olahraga di Daerah Kabupaten Toraja Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 64.89% dengan grade D dan termasuk dalam kategori buruk. Hal ini disebabkan karena di Daerah Kabupaten Toraja hanya memiliki sedikit tempat rekreasi dan sarana olahraga dan kebanyakan responden khususnya wisatawan kurang mengetahui adanya tempat rekreasi dan sarana olahraga tersebut. Dikutip dari karebatoraja.com, pemerintah akan lebih mengembangkan mengembangkan wisata tempat rekreasi dan saran olahraga yang kurang terekspos contohnya panjat tebing, paralayang, *trail*, *offroad*, sepeda gunung, dan wisata tradisional adu kerbau yang masih membutuhkan kajian lebih lanjut.

4.4.10 Tempat buangan sampah di objek wisata

Tempat buangan sampah di objek wisata di Daerah Kabupaten Toraja Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 57.33% dengan grade D dan termasuk dalam kategori buruk. Dari hasil kuisioner yang disebar, sebagian responden menilai kurangnya ketersediaan tempat buangan sampah khususnya di objek wisata, hal ini menyebabkan para wisatawan yang berkunjung sering membuang sampah di sembarang tempat dan membuat kotor tempat wisata, pengelola objek wisata sebenarnya sudah menyediakan beberapa tempat buangan sampah namun penempatannya yang kurang tepat sehingga para wisatawan kurang mengetahui dan melihat keberadaan dari tempat buangan sampah tersebut. Dari hasil wawancara dengan Bupati Toraja Utara mengatakan bahwa untuk masalah buangan sampah sudah teratasi pemerintah sudah melengkapi tempat buangan sampah di semua objek wisata dan pemerintah juga sudah membuat tim untuk mengangkut sampah tersebut.

4.4.11 Bandara (kemudahan akses dengan moda transportasi)

Bandara (kemudahan akses dengan moda transportasi) di Daerah Kabupaten Tana Toraja memiliki nilai *rating* yang paling rendah dibanding dengan infrastruktur lain yaitu 53.78% dengan grade D dan termasuk dalam kategori buruk. Hal ini disebabkan karena bandar udara di Daerah Kabupaten Toraja masih tergolong baru dan masih dalam proses pengembangan

Bandara Pongtiku adalah bandara yang terletak di Kecamatan Rantetayo, Kabupaten Tana Toraja, Sulawesi Selatan. Bandara ini memiliki ukuran landasan pacu 900×23 m. Jarak dari kota Makale sekitar 9 km. Dekat dengan jalan trans-Sulawesi dan berjarak hanya sekitar 12 kilometer dari Ibu Kota Tana Toraja, Makale. Akses untuk mencapai kota ada angkutan Kabupaten Tana Toraja dan bus Shantika, bus Kopaja dan bus Harapan Jaya, bus Kopaja dan bus Damri pilihan yang ada juga mobil travel atau ojek. Terdapat 3 maskapai penerbangan yang melayani tujuan Makassar yaitu Dirgantara Air Service, Nusantara Buana Air, dan Trigana Air Service.

Dikutip dari news.com, Menteri Perhubungan Budi Karya Sumadi melakukan kunjungan ke rumah dinas Gubernur Sulawesi Selatan Syahrul Yasin Limpo, dalam pertemuan tersebut, keduanya membahas beragam potensi Sulsel yang dapat dikembangkan salah satu yang ditekaskan yaitu ikon Sulawesi Selatan yaitu Toraja, rencananya Menhub akan membuat landasan Bandara Pongtiku menjadi lebih panjang.

Dari hasil wawancara dengan Bupati Toraja Utara bandar udara pongtiku baru dibuka sekitar 8 bulan dan pesawat pertama yang beroperasi yaitu Nusantara Buana Air, dan bandara pongtiku ini dinilai masih kurang dikarenakan adanya masalah dalam kepemilikan dari owner pesawat, rencananya akhir tahun ini pemerintah Kabupaten Toraja akan menambah maskapai penerbangan yaitu Garuda.

4.4.12 Terminal (kemudahan akses terminal pada kawasan wisata)

Terminal (kemudahan akses terminal pada kawasan wisata) di Daerah Kabupaten Toraja Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 58.22% dengan grade D dan termasuk dalam kategori buruk. Di daerah Toraja ada dua terminal utama yaitu terminal Bolu yang terletak di Toraja Utara dan terminal Makale yang terletak di Tana Toraja. Kondisi dari kedua terminal ini masih kurang tertata dengan baik, salah satu yang menjadi kekurangan yaitu tidak adanya papan nama yang menunjukkan tujuan bus.

4.4.13 Telekomunikasi (Sinyal di lokasi wisata)

Telekomunikasi (Sinyal di lokasi wisata) di Daerah Kabupaten Toraja Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 76.00% dengan grade C dan termasuk dalam kategori cukup. Dari sebagian besar responden yang mengisi kuisioner sudah merasa puas dengan sinyal yang ada di daerah Toraja, dan sisannya merasa kurang puas dikarenakan jaringan yang kecepatannya sering berubah-ubah. Di Daerah Toraja sendiri sudah tersedia jaringan 4G khusus untuk daerah perkotaan. Menurut Bupati Kabupaten Toraja Utara, ketersediaan sinyal sudah mencakup sebagian besar lokasi wisata di Toraja dan rencananya akan diperluas keseluruh Toraja sehingga tidak ada lagi kota atau desa yang tidak memiliki sinyal.

4.5 Pembahasan Keseluruhan Review Infrastruktur

Berdasarkan semua *review* penelitian kecukupan infrastruktur pariwisata di Kabupaten Daerah Toraja dapat disimpulkan secara keseluruhan nilai *Rating* dan *mean* dari masing-masing infrastruktur pariwisata diperoleh dengan $\text{mean}=3.39$ dengan *rating* 67.90 dan grade D.

Toraja memiliki julukan *Toraja the Highland Paradise* (Toraja adalah surga pegunungan) karena Toraja berada di daerah pegunungan dan meliki pesona alam yang indah dan sejuk serta budaya menarik. Toraja merupakan salah satu destinasi pariwisata unggulan dari Provinsi Sulawesi Selatan yang memiliki banyak objek wisata, dengan banyaknya objek wisata ini tentunya dapat menjadi potensi dan akan menarik wisatawan untuk berkunjung ke Toraja dan dari kunjungan wisatawan ini tentulah akan memberi masukan untuk PAD Kabupaten Daerah Toraja.

Dari informasi Dinas Pariwisata Sulawesi Selatan menunjukkan bahwa wisatawan yang berkunjung ke Toraja baik Tana Toraja atau Toraja Utara mengalami peningkatan setiap tahunnya, pada Kabupaten Tana Toraja jumlah wisatawan mancanegara menurun pada tahun 2015, dan pada Toraja Utara jumlah wisatawan yang paling banyak berkunjung pada bulan Desember. Hal ini tentunya harus diperhatikan oleh pemerintah setempat untuk lebih meningkatkan lagi pembangunan khususnya dalam bidang pariwisata agar wisatawan merasa nyaman dan kunjungan wisatawan tetap meningkat.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini adalah hasil dari sejumlah responden yang pekerjaannya berkaitan dengan bidang pariwisata yaitu wisatawan mancanegara, wisatawan domestik, pemandu wisata, dinas pariwisata, penyedia akomodasi, pengelola wisata, jasa makanan dan minuman yang berada di Daerah Kabupaten Toraja. Sesuai dengan analisis pada bab sebelumnya nilai akhir keseluruhan infrastruktur pariwisata di Daerah Kabupaten Toraja adalah dengan

grade D dari perolehan *rating* sebesar 67.90%. Dari hasil analisis pada setiap infrastruktur dapat ditarik kesimpulan mengenai infrastruktur pariwisata di Daerah Kabupaten Toraja dapat dideskriptifkan berikut ini.

1. Akomodasi di Daerah Kabupaten Toraja memiliki *rating* paling tinggi dari semua infrastruktur lain yang mencapai 79.56% dengan grade C, namun sudah mendekati grade B. Hal ini menunjukkan bahwa akomodasi di Daerah Kabupaten Toraja masuk dalam kategori baik karena para wisatawan yang berkunjung ke Toraja telah mendapatkan pelayanan dan tempat yang baik.
2. Tempat makan dan minum/resto di Daerah Kabupaten Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 75.56% dengan grade C dan termasuk dalam kategori cukup baik.
3. Sarana penjualan (toko-toko yang menjual barang-barang souvenir atau benda-benda lain khusus wisatawan) di Daerah Kabupaten Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 75.56% dengan grade C dan termasuk dalam kategori cukup baik. Hal ini disebabkan karena masih adanya pelayanan yang kurang memuaskan dari pembeli kepada wisatawan yang berkunjung.
4. Air bersih untuk minum di Daerah Kabupaten Toraja Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 71.11% dengan grade C dan termasuk dalam kategori cukup. sebagian responden sudah merasa puas dengan kinerja dan pelayanan PDAM dan menganggap kualitas airnya sudah baik sedangkan dari pemerintah daerah sudah menyelesaikan pembangunan infrastruktur air bersih dalam tahun 2016.
5. Listrik di Daerah Kabupaten Toraja Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 76.44% dengan grade C dan termasuk dalam kategori cukup. Kebutuhan listrik di Kabupaten Toraja Utara dan Tana Toraja sudah terbilang baik khususnya untuk pariwisata, pemerintah Daerah Toraja sudah menyediakan kebutuhan listrik di berbagai objek wisata yang menjadi destinasi favorit bagi para wisatawan.
6. Toilet/MCK umum di Daerah Kabupaten Toraja Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 59.11% dengan grade D dan termasuk dalam kategori buruk. Hal ini disebabkan karena masih adanya pengelola destinasi wisata di Toraja yang belum menyadari pentingnya penyediaan toilet yang layak bagi wisatawan, dari pemerintah sendiri akan menambah jumlah toilet disekitar titik khususnya di tempat wisata.
7. Sarana kesehatan di Daerah Kabupaten Toraja Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 66.67% dengan grade D dan termasuk dalam kategori buruk. Hal ini disebabkan karena kurangnya jumlah rumah sakit dan kurangnya peralatan medis yang dimiliki rumah sakit di Kabupaten Toraja sehingga perlu adanya peningkatan.
8. Transportasi di Daerah Kabupaten Toraja Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 68.44% dengan grade D dan termasuk dalam kategori buruk. Hal yang masih menjadi masalah yaitu kondisi jalan yang berlubang dan belum diaspal sehingga membuat para pengendara yang akan berkunjung ke lokasi wisata merasa kurang nyaman, perlu adanya perhatian yang lebih dari pemerintah.
9. Tempat rekreasi dan sarana olahraga di Daerah Kabupaten Toraja Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 64.89% dengan grade D dan termasuk dalam kategori buruk. Hal ini disebabkan karena kurangnya tempat rekreasi dan sarana olahraga serta kurangnya informasi tentang keberadaan tempat tersebut.
10. Tempat buangan sampah di objek wisata di Daerah Kabupaten Toraja Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 57.33% dengan grade D dan termasuk dalam kategori buruk. Hal ini disebabkan karena kurangnya tempat buangan sampah dan penempatan yang kurang tepat di objek wisata.
11. Bandara (kemudahan akses dengan moda transportasi) di Daerah Kabupaten Toraja memiliki nilai *rating* yang paling rendah dibanding dengan infrastruktur lain yaitu 53.78% dengan grade D dan termasuk dalam kategori buruk. Bandara di Kabupaten Toraja masih tergolong baru dan jumlah maskapai penerbangan yang sedikit, hal ini tentunya masih harus ditingkatkan untuk kedepannya.
12. Terminal (kemudahan akses terminal pada kawasan wisata) di Daerah Kabupaten Toraja Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 58.22% dengan grade D dan termasuk dalam kategori buruk. Perlu adanya peningkatan dari pemerintah dan penataan yang baik sehingga terminal di Toraja dapat berkembang.
13. Telekomunikasi (Sinyal di lokasi wisata) di Daerah Kabupaten Toraja Toraja memiliki nilai *rating* yaitu 76.00% dengan grade C dan termasuk dalam kategori cukup. Perlu adanya perluasan jaringan dan perbaikan jaringan yang ada sehingga wisatawan merasa nyaman ketika mengakses jaringan telekomunikasi.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian, ada beberapa hal yang disarankan oleh peneliti kepada pembaca dengan harapan dipertimbangkan sebagai masukan untuk masa mendatang.

1. Bagi Pemerintah Daerah Kabupaten Toraja, hasil penelitian ini dapat dijadikan bahan/referensi untuk mengembangkan infrastrukturnya khususnya dibidang pariwisata. Pemerintah diharapkan lebih

memperhatikan infrastruktur pendukung pariwisata agar para pengunjung wisata merasa nyaman dan ingin kembali lagi berwisata.

2. Bagi penelitian berikutnya, dapat menambah perspektif-perspektif jangka panjang yang berciri inovatif ber pengaruh besar terhadap pengembangan dan pemeliharaan infrastruktur pariwisata di suatu daerah. Dengan demikian wisatawan dapat berkunjung ulang karena selalu ada obyek dan wahana baru.

PUSTAKA

- Gaworecki W. W., 2003. Turystyka. Warszawa: PWE. (*Tourism Infrastructure as a determinant of regional development*).
- Yoeti, Oka A., 1985. *Pariwisata Budaya Masalah dan Solusinya*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Inskeep, E., (1991). *Tourism Planning An Integrated and Sustainable Development Approach*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Official Website, kualitas infrastruktur pengaruhi standar kehidupan masyarakat, <https://ugm.ac.id/id/berita/599.kualitas.infrastruktur.pengaruhi.standar.kehidupan.masyarakat> (accessed maret 2017)
- Soemardjan, S., 1987. *Spillane*. <http://karyatulisilmiah.com/peran-stakeholder-dalam-pengelolaan-pariwisata/>
- Grigg, N., 1988, *Infrastructure Engineering and Management*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- UNWTO., 2014. *UNWTO Tourism Highlights*. <http://unwto.org>
- Intosh M.c, Robert, W, dan Charles R., Goeldner., 1995. *Tourism Principles, Practices, Philosophies*. USA: Great Publishing Inc
- Official Website, Pembangunan Infrastruktur, <http://www.bkpm.go.id/pariwisata> (accessed maret 2017).
- ASCE., 2015., *Report Card for America's Infrastructure*, ASCE.
- Badan Pusat Statistik Sulawesi Selatan., 2015. *Statistik Daerah Sulawesi Selatan*.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 50 Tahun 2011 *Tentang Rencana Induk 131 Pembangunan Kepariwisata Nasional Tahun 2010 – 2025*.
- Sinaga, D R., 2015. *Strategi Pengembangan Infrastruktur Penunjang Pariwisata di Kawasan Wisata Pantai Jumiang Kabupaten Pamekasan*
- Official Website, Kabupaten Tana Toraja, https://id.wikipedia.org/wiki/Kabupaten_Tana_Toraja (accessed juli 2017)
- Official Website, Kabupaten Toraja Utara, https://id.wikipedia.org/wiki/Kabupaten_Toraja_Utara (accessed juli 2017)
- Official Website, Gambar Peta Provinsi Sulawesi Selatan, <https://saripedia.files.wordpress.com/2010/11/sulsel.jpg> (accessed juli 2017)
- Official Website, Gambar Peta Pariwisata Toraja <http://www.indonesia-tourism.com/south-sulawesi/map/tana-toraja-map.png> (accessed juli 2017)
- Official Website, Gambar Toraja Misliana Hotel, https://www.tripadvisor.co.uk/LocationPhotoDirectLink-g317108-d2138046-i99416381Toraja_Misiliana_Hotel_Rantepao_South_Sulawesi_Sulawesi.html (accessed juli 2017)
- Official Website, Direktur PDAM Toraja Utara dan Tana Toraja bertekad siapkan air bersih yang berkualitas. <http://mcwnews.com/direktur-pdam-toraja-utara-tana-toraja-bertekad-siapkan-air-bersih-yang-berkualitas.php> (accessed juli 2017)
- Official Website, Kelayakan Toilet umum pengaruhi kunjungan wisata, <http://nasional.republika.co.id/berita/nasional/daerah/16/10/05/oekza3284-kelayakan-toilet-umum-pengaruhi-kunjungan-wisata>. (accessed juli 2017)
- Official Website, Akomodasi Transportasi di Toraja, <http://www.portalsolata.com/2015/04/akomodasi-transportasi-di-toraja.html> (accessed juli 2017)
- Official Website, Wisata Olahraga dan Rekreasi di Toraja, <http://karebatoraja.com/kejar-target-20-juta-wisman-pemerintah-pusat-kembangkan-wisata-olahraga-dan-rekreasi-di-toraja/> (accessed juli 2017)
- Official Website, Bandar Udara Pongtiku https://id.wikipedia.org/wiki/Bandar_Udara_Pongtiku (accessed juli 2017)
- Official Website, Wisata Olahraga dan Rekreasi di Toraja, <http://karebatoraja.com/kejar-target-20-juta-wisman-pemerintah-pusat-kembangkan-wisata-olahraga-dan-rekreasi-di-toraja/> (accessed juli 2017)
- Official Website, Menhub Akan Perpanjang Landasan Bandara Pongtiku di Tana Toraja <https://news.detik.com/berita/d-3425744/menhub-akan-perpanjang-landasan-bandara-pongтику-di-tana-toraja> (accessed juli 2017)
- Official Website, Transportasi di Toraja, http://www.jotravelguide.com/toraja/transportasi_di_toraja.php (accessed juli 2017)

Official Website, Infrastruktur Untuk Mendukung Pariwisata Toraja, <https://www.edunews.id/news/infrastruktur-untuk-mendukung-pariwisata-toraja/> (accessed juli 2017)
World Economy Forum. 2018. *World Competitive Report 2017-2018*. http://www.wef_report_2018 (accessed Jan, 2018).

IDENTIFIKASI FAKTOR-FAKTOR YANG BERPENGARUH DALAM ESTIMASI BIAYA TIDAK LANGSUNG PROYEK KONSTRUKSI

Marinus Linggi Kala' Lino

*Magister Teknik Sipil, Konsentrasi Manajemen Proyek Konstruksi,
Universitas Katolik Parahyangan, Bandung
Jalan Merdeka No. 30 Bandung (40117)
E-mail: linglino@yahoo.co.id*

ABSTRAK

Kontraktor harus pandai dan kompetitif dalam mengestimasi biaya tidak langsung ke dalam Rencana Anggaran Biaya (RAB) penawaran. Tantangannya adalah faktor-faktor apa saja yang perlu dipertimbangkan dalam mengestimasi biaya tidak langsung proyek ke dalam RAB. Masalah penelitian ini adalah faktor-faktor apa yang mempengaruhi dalam penentuan estimasi biaya tidak langsung pada pekerjaan konstruksi. Sementara itu, tujuan penelitian adalah untuk mengidentifikasi faktor yang berpengaruh dalam penentuan besar kecilnya biaya tidak langsung proyek konstruksi. Pengambilan data sekunder berdasarkan kajian literatur terdahulu yang dikumpulkan, dibandingkan dan diinventarisasi berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang relevan dengan masalah estimasi biaya tidak langsung proyek konstruksi. Berdasarkan tinjauan literatur yang dikaji pada penelitian ini diperoleh 59 faktor sebagai variabel faktor-faktor yang berpengaruh dalam penentuan besar estimasi biaya tidak langsung yang dikelompokkan menjadi 4 kelompok faktor yaitu kelompok proyek (project factors), organisasi (organization factors), klien dan peraturan pemerintah (client and government regulation factors) serta faktor lingkungan (environmental factors).

Kata Kunci: biaya tidak langsung, estimasi biaya, faktor estimasi

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan sektor jasa konstruksi di Indonesia sekarang ini terus berkembang, terlihat jelas dengan banyaknya proyek konstruksi yang sedang dikerjakan bahkan yang sudah dikerjakan sampai saat ini baik dari sektor pemerintah maupun dari sektor swasta. Proyek konstruksi tersebut meliputi pembangunan, peningkatan, dan pemeliharaan pada konstruksi gedung, jalan dan jembatan, pelabuhan dan konstruksi sumber daya air seperti irigasi, bendungan dan lainnya. Perkembangan pembangunan proyek konstruksi tersebut telah menelan biaya yang sangat besar, di mana setiap paket pekerjaan konstruksi memerlukan dana anggaran biaya yang besar pula pada setiap pakatnya. Hal inilah yang mendorong para pelaku penyedia jasa konstruksi (kontraktor) untuk ikut bersaing dalam proses penyelenggaraan konstruksi pada saat pelelangan (tender). Dalam mengikuti proses pelelangan ini kontraktor harus perlu perencanaan yang baik dalam mengestimasi biaya penawaran.

Secara umum dalam proses estimasi biaya proyek, keberhasilan suatu kontraktor dalam menangani ketidakpastian biaya terletak pada sebaik apa mereka mampu menghasilkan estimasi biaya yang akurat. Perkiraan biaya yang akurat akan mengurangi risiko akibat perubahan biaya yang akan dihadapi. Dengan berkurangnya risiko tersebut, kontraktor dapat mereduksi atau mengurangi biaya risiko yang pada akhirnya dapat menghasilkan penawaran yang lebih kompetitif (Soemardi dan Kusumawardani, 2010). Penawaran yang kompetitif untuk sebuah proyek konstruksi seharusnya mempertahankan sistem penetapan biaya yang tepat dengan mekanisme yang tepat untuk alokasi dan pembagian biaya *overhead* yang akurat guna menghindari kerugian (Musonga, 2015).

Holland dan Hobson (1999) mengungkapkan bahwa sering kali kontrak yang dinegosiasikan adalah biaya tambahan dengan setiap kontraktor dalam menentukan negosiasi biaya berbeda-beda. Beberapa penawaran konstruksi yang dinegosiasikan memberikan jumlah harga tetap untuk biaya konstruksi langsung, namun biaya konstruksi tidak langsung dianggap dapat diganti kepada kontraktor dan ditagih terpisah dari biaya langsung konstruksi. Banyaknya definisi dari biaya, penggantian biaya, biaya tambahan, biaya langsung dan biaya tidak langsung dapat menyebabkan kebingungan bagi pemilik proyek saat mempertimbangkan penawaran. Misal, kontraktor sesuai dengan klasifikasi biaya normalnya dapat mempertimbangkan barang sebagai biaya langsung yang orang lain sebagai biaya tidak langsung. Hal ini akan menyebabkan kontraktor memiliki persentase biaya tidak langsung yang lebih rendah dan mungkin salah dalam memilih penawaran terendah.

Dalam proses tender perlu dipertimbangkan harga tender yang terdiri dari elemen biaya langsung dan biaya tidak langsung di mana perbedaan antara kedua biaya tersebut terkadang sulit dan subjektif (Tah et al., 1994). Dampak dari perkiraan biaya yang tidak tepat terhadap bisnis konstruksi cukup signifikan. Hasil biaya yang terlalu tinggi dalam mengajukan harga tender tinggi oleh kontraktor dapat menyebabkan tender tidak dapat diterima oleh klien. Di sisi lain biaya yang diremehkan dapat menyebabkan situasi di mana kontraktor menanggung kerugian atas kontrak yang diberikan oleh klien (Asal, 2014).

Biaya *overhead* merupakan salah satu elemen mendasar dalam pengelolaan biaya perusahaan yang harus dipertimbangkan sebagai harga tender yang kompetitif. Dengan pengetahuan dan pengendalian biaya *overhead*,

perusahaan kontrak kerja dapat mencapai tingkat optimal dari *overhead*, dan membuat keseimbangan antara kualitas dan biaya untuk bersaing lebih baik, mengurangi risiko, dan bertahan di pasar. Salah satu langkah paling penting dalam mengendalikan biaya ini dengan mengenali dan menilai faktor-faktor pada biaya *overhead* (Hesami dan Lavasani, 2014).

Kontraktor dalam persaingannya di dunia konstruksi guna memenangkan tender, sering kali mengestimasi biaya berdasarkan pengalaman saja tanpa memperhitungkan faktor dalam penentuan estimasi biaya yang akurat terutama pada estimasi biaya tidak langsung. Kontraktor harus pandai dan kompetitif dalam mengestimasi biaya tidak langsung ke dalam Rencana Anggaran Biaya (RAB) penawaran. Tantangannya adalah faktor-faktor apa saja yang perlu dipertimbangkan dalam mengestimasi biaya tidak langsung proyek ke dalam RAB.

1.2 Rumusan Masalah dan Tujuan

Pentingnya estimasi biaya tidak langsung yang akurat dijelaskan dengan baik oleh banyak penulis. Namun, penelitian sebelumnya di beberapa negara yang telah mapan industri konstruksinya ditemukan pada umumnya kontraktor memperkirakan item biaya tidak langsung proyek hanya berdasarkan penilaian dan pengalaman profesional mereka (Chan dan Pasquire, 2004). Di Indonesia, penelitian tentang estimasi biaya tidak langsung khususnya pada faktor yang berpengaruh dalam mengestimasi biaya tidak langsung proyek konstruksi masih sangat terbatas sementara di sisi lain hasil penelitian ini diharapkan untuk dapat membantu mengidentifikasi faktor-faktor yang dimaksudkan tersebut kepada kontraktor dan pemilik proyek dalam memperkirakan biaya tidak langsung secara lebih akurat. Masalah penelitian yang akan diselesaikan dalam penelitian ini adalah faktor-faktor apa yang mempengaruhi dalam penentuan estimasi biaya tidak langsung pada pekerjaan konstruksi.

Sementara itu, tujuan yang ingin dicapai dalam menyelesaikan masalah tersebut di atas adalah untuk mengidentifikasi faktor yang berpengaruh dalam penentuan besar kecilnya biaya tidak langsung proyek konstruksi. Identifikasi faktor tersebut dimungkinkan dapat mengendalikan dan mengurangi risiko sehingga dalam proses penawaran, kontraktor dalam persaingannya dengan sesama kontraktor dapat menghasilkan penawaran dengan kompetitif.

1.3 Tinjauan Pustaka

Kemampuan kontraktor dalam persaingan di industri konstruksi erat kaitannya dengan kemampuan mereka dalam mengestimasi biaya mulai dari awal pekerjaan proyek sampai pada pemeliharaan proyek. Estimator akan mengestimasi biaya dengan mempertimbangkan hal-hal yang berkaitan dengan proses pelaksanaan proyek beserta risiko yang akan dihadapi selama pelaksanaan proyek. Beberapa ahli beraneka ragam berpendapat terhadap pemahaman estimasi biaya.

Menurut American Association of Cost Engineering (AACE, 1992) mendefinisikan estimasi biaya (*cost estimate*) sebagai himpunan biaya elemen proyek atau upaya yang termasuk dalam ruang lingkup yang disetujui, dimana untuk kontraktor elemen ini adalah biaya yang kemungkinan besar akan terjadi dalam penyelesaian proyek sebagaimana yang didefinisikan dalam dokumen kontrak.

Project Management Body of Knowledge (PMBOK, 2013) mendefinisikan estimasi biaya sebagai proses pengembangan perkiraan biaya dari sumber daya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan kegiatan proyek. Manfaat utama dari proses estimasi ini adalah menentukan jumlah biaya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan proyek.

Santosa (2009) mengungkapkan bahwa perkiraan biaya (estimasi biaya) digunakan untuk menyusun anggaran dan dijadikan dasar untuk mengevaluasi performansi proyek. Tingkat pengeluaran aktual yang dibandingkan dengan tingkat pengeluaran yang dianggarkan akan menjadi ukuran penting dalam mengukur performansi proyek. Tanpa estimasi yang baik, sulit diharapkan evaluasi yang efisien untuk menentukan biaya proyek yang akurat.

Perencanaan estimasi proyek konstruksi memegang peranan penting dalam sebuah proses proyek konstruksi. Proses estimasi perlu memperhatikan aspek biaya, mutu dan waktu dalam perencanaan konstruksi untuk mencapai sasaran proyek. Ketiga aspek tersebut yang paling berpengaruh dalam proses estimasi adalah aspek biaya dikarenakan biaya yang dikeluarkan pada saat pelaksanaan sangat erat kaitannya dengan waktu pelaksanaan dengan memperhatikan mutu pekerjaan. Secara umum komponen biaya konstruksi dibagi menjadi dua komponen yaitu biaya langsung (*direct cost*) dan biaya tidak langsung (*indirect cost*).

Biaya langsung adalah biaya yang terikat langsung dengan item volume pekerjaan atau item kegiatan tertentu. Komponen biaya langsung terdiri dari upah tenaga kerja, biaya material, biaya peralatan dan biaya subkontrak (AACE, 1992). Sementara itu, menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Permen PUPR) nomor 28/PRT/M/2016 mendefinisikan biaya langsung sebagai komponen harga satuan pekerjaan yang terdiri atas biaya upah, biaya bahan dan biaya alat.

Biaya tidak langsung adalah biaya yang tidak terikat langsung dengan volume pekerjaan namun berpengaruh dalam penyelesaian proyek. Komponen biaya tidak langsung terdiri dari pajak (taxes), kondisi umum (general condition), biaya risiko (risk) dan *overhead* (AACE, 1992). Sementara itu, menurut Permen PUPR nomor 28/PRT/M/2016, biaya tidak langsung merupakan komponen harga satuan pekerjaan yang terdiri atas biaya umum (*overhead*) dan keuntungan yang besarnya disesuaikan dengan ketentuan berlaku.

Komponen biaya tidak langsung proyek konstruksi dalam proses penawaran biasanya dimasukkan dalam setiap jenis pekerjaan. Umumnya kontraktor nasional di Indonesia tidak melakukan identifikasi biaya tidak langsung secara detail dan tidak memiliki mekanisme yang akurat dalam menentukan besarnya masing-masing variabel biaya tidak langsung (Soemardi dan Kusumawardani, 2010). Praktik estimasi biaya tidak langsung dalam penerapannya masih terdapat beberapa kesulitan di antaranya perkiraan biaya tidak langsung tiap proyek berbeda-beda tergantung karakteristik, lingkungan dan lokasi proyek (Nugroho dan Mulyono, 2016).

Kontraktor memiliki persepsi yang berbeda mengenai biaya tidak langsung walaupun pada umumnya disepakati bahwa biaya *overhead*, biaya risiko, dan keuntungan secara keseluruhan adalah biaya langsung, akan tetapi ada juga kontraktor beranggapan bahwa setiap biaya yang terkait dengan proyek dianggap sebagai biaya langsung (Tah et al., 1994).

1.4 Metodologi Penelitian

Metodologi penulisan yang digunakan dalam studi ini adalah pengambilan data secara sekunder. Pengambilan data sekunder yaitu pengambilan data berdasarkan kajian literatur terdahulu yang dilakukan dengan cara mengumpulkan, membandingkan dan menginventarisasi penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang relevan dengan masalah estimasi biaya tidak langsung proyek konstruksi. Kajian literatur pada penelitian ini merupakan uraian deskripsi studi pustaka dari sejumlah buku dan aturan yang terkait dengan teori estimasi biaya tidak langsung proyek konstruksi. Sumber lain yang menjadi literatur penelitian ini adalah sejumlah jurnal ilmiah yang melakukan kajian tentang estimasi biaya tidak langsung proyek konstruksi dan faktor-faktor yang berpengaruh dalam penentuan besar kecilnya biaya tidak langsung. Selain itu penulis juga menggunakan sumber lain berupa tesis yang mengkaji tentang estimasi biaya tidak langsung beserta faktor-faktor yang berpengaruh dalam penentuan besar estimasi biaya tidak langsung.

Dalam beberapa penelitian sebelumnya terdapat penelitian yang mengkaji variabel komponen estimasi biaya langsung dan biaya tidak langsung. Berdasarkan metode penulisan yang digunakan dalam penelitian ini, maka penulisan dibatasi pada penelitian terdahulu yang mengkaji faktor-faktor yang berpengaruh dalam penentuan besar kecilnya biaya tidak langsung.

Dalam memutuskan variabel penelitian, tahap awal yang dilakukan adalah identifikasi untuk mencari faktor-faktor relevan yang akan digunakan pada penelitian ini. Terhadap faktor-faktor tersebut kemudian dilakukan proses seleksi. Seleksi dilakukan dengan cara tidak memasukkan faktor-faktor yang tidak relevan atau spesifik dengan topik dan objek penelitian. Tahap selanjutnya adalah dengan melakukan penggabungan beberapa faktor yang memiliki arti/maksud yang sama. Tahap akhir adalah melakukan pengelompokan faktor berdasarkan kesesuaian aspek biaya tidak langsung proyek konstruksi.

2. PEMBAHASAN

Biaya tidak langsung merupakan salah satu unsur terpenting dalam mengestimasi suatu perencanaan atau penawaran terhadap pelaksanaan proyek. Unsur biaya tidak langsung dalam proses pengendalian estimasi biaya dapat pula dipengaruhi oleh beberapa faktor dalam penentuan besar kecilnya biaya yang akan digunakan selama pelaksanaan proyek. Berdasarkan tinjauan literatur yang dikaji pada penelitian ini diperoleh 59 faktor sebagai variabel faktor-faktor yang berpengaruh dalam penentuan besar estimasi biaya tidak langsung.

Variabel faktor-faktor tersebut akan digunakan sebagai variabel penelitian yang dapat dikelompokkan menjadi 4 kelompok faktor yang terdiri atas kelompok proyek (*project factors*), kelompok organisasi (*organization factors*), kelompok klien dan peraturan pemerintah (*client and goverment regulation factors*) serta kelompok faktor lingkungan (*environmental factors*). Hasil identifikasi faktor dapat disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor yang Berpengaruh Dalam Penentuan Estimasi Biaya Tidak Langsung Proyek Konstruksi

Variabel Faktor	Referensi
A. Kelompok Proyek (<i>Project Factor</i>)	
1. Kompleksitas proyek	Tah et al. (1994), Al-Shahri (1997), Assaf et al. (2001), Enshassi et al. (2008), Ujene et al. (2013), Nugroho dan Mulyono (2016), Hesami dan Lavasani (2014)
2. Lokasi proyek	Tah et al. (1994), Assaf et al. (2001), Abdul-Malak dan Azhari (2008), Nugroho dan Mulyono (2016), Hesami dan Lavasani (2014)
3. Ukuran dan volume proyek	Tah et al. (1994), Assaf et al. (2001), Abdul-Malak dan Azhari (2008), Al Riyati (2013), Ujene et al. (2013), Hesami dan Lavasani (2014)
4. Tingkat kualitas proyek	Hesami dan Lavasani (2014)

Variabel Faktor	Referensi
5. Lingkup pekerjaan	Hesami dan Lavasani (2014)
6. Durasi proyek	Tah et al. (1994), Al Riyati (2013), Ujene et al. (2013), Hesami dan Lavasani (2014)
7. Site layout	Hesami dan Lavasani (2014)
8. Jenis proyek atau pekerjaan	Tah et al. (1994), Nugroho dan Mulyono (2016), Hesami dan Lavasani (2014)
9. Jumlah penawaran kerja	Tah et al. (1994)
10. Volume tenaga kerja	Abdul-Malak dan Azhari (2008)
11. Mobilisasi	Abdul-Malak dan Azhari (2008)
12. Jumlah dan jenis peralatan	Abdul-Malak dan Azhari (2008)
13. Kemajuan pekerjaan	Abdul-Malak dan Azhari (2008)
14. Ketidakmampuan mendapatkan bahan	Al Riyati (2013)
B. Kelompok Organisasi (<i>Organization Factor</i>)	
1. Kebutuhan kontraktor untuk pekerjaan	Al-Shahri (1997), Assaf et al. (2001), Enshassi et al. (2008), Ujene et al. (2013), Hesami dan Lavasani (2014)
2. Metode manajemen proyek	Hesami dan Lavasani (2014)
3. Ketersediaan modal kontraktor	Al-Shahri (1997), Assaf et al. (2001), Enshassi et al. (2008), Al Riyati (2013), Ujene et al. (2013), Hesami dan Lavasani (2014)
4. Pekerjaan yang disubkontrakkan	Al-Shahri (1997), Assaf et al. (2001), Abdul-Malak dan Azhari (2008), Enshassi et al. (2008), Al Riyati (2013), Ujene et al. (2013), Hesami dan Lavasani (2014)
5. Arus kas	Tah et al. (1994), Abdul-Malak dan Azhari (2008), Al Riyati (2013)
6. Retensi	Abdul-Malak dan Azhari (2008)
7. Jumlah uang muka	Abdul-Malak dan Azhari (2008)
8. Klasifikasi perusahaan	Ujene et al. (2013), Hesami dan Lavasani (2014)
9. Hubungan di proyek	Abdul-Malak dan Azhari (2008), Al Riyati (2013), Hesami dan Lavasani (2014)
10. Pengalaman proyek sejenis	Tah et al. (1994), Al Riyati (2013), Hesami dan Lavasani (2014)
11. Pengalaman perusahaan dengan owner	Al Riyati (2013), Ujene et al. (2013)
12. Kerjasama perusahaan asing	Hesami dan Lavasani (2014)
13. Ketersediaan proyek sejenis	Hesami dan Lavasani (2014)
14. Kontribusi kantor pusat	Tah et al. (1994)
15. Kekuatan perusahaan	Tah et al. (1994)
16. Kepuasan sumber daya	Tah et al. (1994)
17. Tim engineer dan supervisi kontraktor	Abdul-Malak dan Azhari (2008)
18. Persyaratan pemasok dan subkontraktor	Abdul-Malak dan Azhari (2008)
19. Keahlian dalam menentukan persentase biaya <i>overhead</i>	Al Riyati (2013)
20. Kemampuan untuk mematuhi kontrak dan spesifikasi	Al Riyati (2013)
21. Kemampuan untuk mengatasi masalah	Al Riyati (2013)
22. Audit keuangan secara berkala	Al Riyati (2013)
23. Kemampuan untuk menghadapi risiko	Al Riyati (2013)
24. Tanggapan dalam solusi klaim dan perselisihan	Al Riyati (2013)

Variabel Faktor	Referensi
25. Sistem pemantauan dan evaluasi biaya <i>overhead</i>	Al Riyati (2013)
26. Keragaman dalam bisnis perusahaan	Al Riyati (2013)
C. Kelompok Klien dan Peraturan Pemerintah (<i>Client and Government Regulation Factor</i>)	
1. Jadwal pembayaran	Al-Shahri (1997), Assaf et al. (2001), Enshassi et al. (2008), Al Riyati (2013), Ujene et al. (2013), Hesami dan Lavasani (2014)
2. Ketegasan dalam pengawasan	Al-Shahri (1997), Assaf et al. (2001), Enshassi et al. (2008), Al Riyati (2013), Hesami dan Lavasani (2014)
3. Jenis kontrak	Tah et al. (1994), Al-Shahri (1997), Assaf et al. (2001), Enshassi et al. (2008), Al Riyati (2013), Ujene et al. (2013), Hesami dan Lavasani (2014)
4. Metode tender	Hesami dan Lavasani (2014)
5. Metode pelaksanaan proyek	Hesami dan Lavasani (2014)
6. Tingkat dan persyaratan garansi	Hesami dan Lavasani (2014)
7. Kebutuhan desain kontraktor	Hesami dan Lavasani (2014)
8. Regulasi pemerintah	Abdul-Malak dan Azhari (2008)
9. Sumber pendanaan	Tah et al. (1994)
10. Jenis dan sifat klien/owner	Ujene et al. (2013)
11. Jenis konsultan	Ujene et al. (2013)
D. Kelompok Lingkungan (<i>Environmental Factor</i>)	
1. Kondisi ekonomi regional	Nugroho dan Mulyono (2016), Hesami dan Lavasani (2014)
2. Jumlah pesaing	Tah et al. (1994), Al-Shahri (1997), Assaf et al. (2001), Enshassi et al. (2008), Al Riyati (2013), Hesami dan Lavasani (2014)
3. Negara yang melaksanakan proyek	Ujene et al. (2013), Hesami dan Lavasani (2014)
4. Perhatian pemangku kepentingan	Hesami dan Lavasani (2014)
5. <i>Inflasi</i> dan suku bunga	Abdul-Malak dan Azhari (2008), Al Riyati (2013), Hesami dan Lavasani (2014)
6. Volume pekerjaan atau kondisi pasar konstruksi	Tah et al. (1994), Hesami dan Lavasani (2014)
7. Tingkat informasi yang tersedia	Ujene et al. (2013)
8. Praktik penipuan dan suap	Ujene et al. (2013)

2.1 Pengelompokan Faktor Berdasarkan Kelompok Proyek (*Project Factor*)

Berdasarkan faktor kelompok proyek dari hasil gabungan beberapa peneliti diperoleh 14 jenis faktor yang mempengaruhi dalam penentuan estimasi biaya tidak langsung proyek konstruksi. Hasil dari 14 jenis faktor tersebut diperoleh faktor yang sering menjadi ranah penelitian oleh peneliti yaitu faktor kompleksitas proyek, faktor lokasi proyek, faktor ukuran dan volume proyek, faktor durasi proyek, dan faktor jenis proyek atau pekerjaan.

Faktor kompleksitas proyek menurut Tah et al. (1994) merupakan faktor utama yang mempengaruhi tingkat nilai profit (keuntungan) proyek. Sementara Al-Shahri (1997) mengidentifikasi faktor kompleksitas proyek cenderung mendorong kontraktor untuk tidak mengalokasikan lebih sedikit biaya *overhead* yang besar memaksa kontraktor untuk mempelajari dengan seksama setiap aspek proyek karena kegagalan dalam proyek-proyek semacam itu sangat berbahaya bagi para kontraktor. Assaf et al. (2001) berpendapat bahwa faktor kompleksitas proyek dalam pengambilan keputusan perusahaan kontrak, tidak mengikuti angka-angka yang berasal dari perkiraan proyek tetapi mengubah tingkat *overhead* perusahaan ke nilai yang lebih tinggi atau lebih rendah. Enshassi et al. (2008) mengidentifikasi faktor kompleksitas proyek sebagai faktor tertinggi yang mempengaruhi besarnya biaya *overhead* di mana dalam kondisi yang sangat sulit, infrastruktur yang buruk dan kurangnya layanan yang membuat proyek-proyek ini sangat sulit untuk dilaksanakan dengan tingkat harga normal. Ujene et al. (2013) mengemukakan bahwa faktor kompleksitas proyek merupakan alokasi persentase signifikan yang mempengaruhi jumlah biaya *overhead* proyek. Sementara itu, menurut Nugroho dan Mulyono (2016) bahwa

faktor kompleksitas proyek merupakan faktor risiko yang berpengaruh dalam mekanisme penetapan biaya tidak langsung. Selain itu, Hesami dan Lavasani (2014) mengidentifikasi faktor kompleksitas berdasarkan peneliti sebelumnya dapat disimpulkan bahwa kompleksitas proyek merupakan fungsi dari kompleksitas organisasi, kompleksitas sumber daya, dan kompleksitas teknis dimana faktor tersebut berpengaruh dalam peningkatan biaya *overhead*.

Faktor lokasi proyek akan mempengaruhi tingkat nilai profit proyek (Tah et al.,1994), pengalokasian biaya *overhead* (Assaf et al.,2001; Nugroho dan Mulyono, 2016), risiko proyek (Abdul-Malak dan Azhari, 2008; Nugroho dan Mulyono, 2016). Selain itu, menurut Hesami dan Lavasani (2014) berdasarkan peneliti sebelumnya menyimpulkan faktor lokasi proyek dapat mempengaruhi beberapa komponen biaya *overhead* proyek termasuk biaya perjalanan, transportasi, akses, keamanan properti publik, peluncuran dan pelestarian kantor, dan fasilitas sementara lainnya serta dapat mencegah dari pengalokasian tambahan sumber daya yang mahal.

Faktor ukuran dan volume proyek akan mempengaruhi biaya *overhead* (Tah et al.,1994; Assaf et al.,2001), risiko proyek (Abdul-Malak dan Azhari, 2008), intensitas persaingan antar kontraktor (Al Riyati, 2013) yang dapat mengakibatkan estimasi persentase *overhead* akan berubah pada dan ukuran risiko yang diambil juga akan berubah, alokasi persentase signifikan biaya *overhead* (Ujene et al.,2013), dan peningkatan kebutuhan sumber daya dan staf (Hesami dan Lavasani, 2014). Selain itu, (Hesami dan Lavasani, 2014) dalam penelitiannya menyimpulkan hasil penelitian terdahulu bahwa faktor ukuran proyek akan mempengaruhi struktur organisasi kontraktor, struktur rincian biaya, dan periode proyek.

Faktor durasi proyek akan mempengaruhi profit proyek dan *overhead* (Tah et al.,1994; Al Riyati, 2013; Hesami dan Lavasani, 2014), dan alokasi persentase signifikan biaya *overhead* (Ujene et al.,2013). Sementara itu, faktor jenis proyek atau pekerjaan akan dapat mempengaruhi profit proyek dan *overhead* (Tah et al.,1994), biaya risiko proyek (Nugroho dan Mulyono, 2016). Menurut Hesami dan Lavasani (2014) berdasarkan peneliti sebelumnya menyimpulkan faktor jenis proyek dapat mempengaruhi biaya *overhead* yang mempertimbangkan bahaya dan persyaratan proyek.

2.2 Pengelompokan Faktor Berdasarkan Kelompok Organisasi (*Organization Factor*)

Berdasarkan faktor kelompok organisasi dari hasil gabungan beberapa peneliti diperoleh 26 jenis faktor yang mempengaruhi dalam penentuan estimasi biaya tidak langsung proyek konstruksi. Hasil dari 26 jenis faktor tersebut diperoleh faktor yang sering menjadi ranah penelitian oleh peneliti yaitu faktor kebutuhan kontraktor untuk pekerjaan, faktor ketersediaan modal kontraktor, faktor pekerjaan yang disubkontrakkan, faktor arus kas, faktor hubungan di proyek, dan faktor pengalaman proyek sejenis.

Faktor kebutuhan kontraktor untuk pekerjaan akan mempengaruhi kecenderungan kontraktor meremehkan biaya *overhead* (Al-Shahri, 1997), jumlah *overhead* perusahaan proyek (Assaf et al., 2001; Enshassi et al., 2008), nilai persentase *overhead* proyek (Ujene et al., 2013), dan kebutuhan staf perusahaan yang berpengalaman untuk bekerja (Hesami dan Lavasani, 2014).

Faktor ketersediaan modal kontraktor mempengaruhi kontribusi kas kontraktor (Al-Shahri, 1997) di mana dengan kemampuan finansial akan dapat menunda suatu perjanjian jika diperlukan. Selain itu faktor tersebut juga akan mempengaruhi perkiraan proyek yang dapat mengubah tingkat *overhead* perusahaan ke nilai yang lebih tinggi atau lebih rendah (Assaf et al., 2001), kemampuan keuangan yang kuat (Enshassi et al., 2008) tidak terpengaruh sama seperti kontraktor dengan kemampuan finansial rendah sehingga kontraktor yang secara finansial kuat tidak menanggung biaya *overhead* yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang kurang mampu, komitmen pada durasi proyek yang menghindari penundaan sehingga dapat mengurangi biaya *overhead* seminimal mungkin (Al Riyati, 2013), alokasi nilai persentase biaya *overhead* proyek untuk membangun proyek konstruksi (Ujene et al., 2013), dan akan mempengaruhi penghematan dan melaksanakan proyek lebih ekonomis dan efektif pada jumlah biaya *overhead* (Hesami dan Lavasani, 2014).

Faktor pekerjaan yang disubkontrakkan mempengaruhi jumlah alokasi biaya *overhead* (Al-Shahri, 1997; Enshassi et al., 2008), perkiraan proyek yang dapat mengubah tingkat *overhead* perusahaan ke nilai yang lebih tinggi atau lebih rendah (Assaf et al., 2001), biaya tim pengawas kontraktor (Abdul-Malak dan Azhari, 2008), kebutuhan staf untuk pemantauan dan bimbingan untuk kualitas yang diinginkan (Al Riyati, 2013), jumlah berbagai jenis *overhead* proyek yang secara langsung atau tidak langsung memberikan tekanan pada jumlah berbagai biaya *overhead* proyek (Ujene et al., 2013), dan mempengaruhi jumlah paket pekerjaan (Hesami dan Lavasani, 2014).

Faktor arus kas mempengaruhi biaya risiko proyek (Tah et al.,1994), biaya pembiayaan (*overdraft*) (Abdul-Malak dan Azhari, 2008), dan akan mempengaruhi biaya *overhead* dalam mengontrol likuiditas keuangan proyek secara signifikan (Al Riyati, 2013).

Faktor hubungan di proyek mempengaruhi biaya pembiayaan (Abdul-Malak dan Azhari, 2008), berkurangnya rintangannya yang mengarah pada biaya (Al Riyati, 2013), dan akan menyeimbangkan harga bahan dari pemasok (Hesami dan Lavasani, 2014).

Faktor pengalaman proyek sejenis mempengaruhi profit (Tah et al.,1994), memberikan kesempatan bagi kontraktor untuk menentukan secara akurat jumlah biaya *overhead* proyek yang direncanakan (Al Riyati, 2013), dan akan mempengaruhi penurunan biaya *overhead* (Hesami dan Lavasani, 2014).

2.3 Pengelompokan Faktor Berdasarkan Kelompok Klien dan Peraturan Pemerintah (*Client and Government Regulation Factor*)

Berdasarkan faktor kelompok klien dan peraturan pemerintah dari hasil gabungan beberapa peneliti diperoleh 11 jenis faktor yang mempengaruhi dalam penentuan estimasi biaya tidak langsung proyek konstruksi. Hasil dari 11 jenis faktor tersebut diperoleh faktor yang sering menjadi ranah penelitian oleh peneliti yaitu faktor jadwal pembayaran, ketegasan dalam pengawasan, dan jenis kontrak.

Faktor jadwal pembayaran akan mempengaruhi kekuatan keuangan kontraktor (Al-Shahri, 1997), perkiraan proyek yang dapat mengubah tingkat *overhead* perusahaan (Assaf et al., 2001), kemampuan finansial kontraktor (Enshassi et al., 2008), likuiditas keuangan proyek secara signifikan (Al Riyati, 2013), nilai persentase biaya *overhead* (Ujene et al., 2013), dan biaya tambahan dan peningkatan biaya *overhead* (Hesami dan Lavasani, 2014).

Faktor ketegasan dalam pengawasan akan mempengaruhi tingkat keakuan dalam pengawasan (Al-Shahri, 1997), perkiraan proyek yang dapat mengubah tingkat *overhead* perusahaan (Assaf et al., 2001), kemampuan finansial kontraktor (Enshassi et al., 2008), peningkatan biaya staf teknis dan dapat mengakibatkan penundaan durasi proyek yang dapat meningkatkan biaya *overhead* umum (Al Riyati, 2013), dan sumber daya *overhead* paling banyak (Hesami dan Lavasani, 2014).

Faktor jenis kontrak akan mempengaruhi *overhead*, profit dan risiko (Tah et al., 1994), alokasi biaya *overhead* (Al-Shahri, 1997; Ujene et al., 2013; Hesami dan Lavasani, 2014), risiko proyek dan menghindari perselisihan dengan klien (Al Riyati, 2013), kemampuan finansial kontraktor (Enshassi et al., 2008),

2.4 Pengelompokan Faktor Berdasarkan Kelompok Lingkungan (*Environmental Factor*)

Berdasarkan faktor kelompok lingkungan dari hasil gabungan beberapa peneliti diperoleh 8 jenis faktor yang mempengaruhi dalam penentuan estimasi biaya tidak langsung proyek konstruksi. Hasil dari 8 jenis faktor tersebut diperoleh faktor yang sering menjadi ranah penelitian oleh peneliti yaitu faktor jumlah pesaing, dan *inflasi* dan suku bunga.

Faktor jumlah pesaing akan mempengaruhi *overhead* dan profit (Tah et al., 1994), biaya *overhead* proyek (Al-Shahri, 1997; Hesami dan Lavasani, 2014), perkiraan proyek yang dapat mengubah tingkat *overhead* perusahaan (Assaf et al., 2001), kemampuan finansial kontraktor (Enshassi et al., 2008), memiliki efek dalam menentukan persentase biaya *overhead* (Al Riyati, 2013).

Faktor *inflasi* dan suku bunga akan mempengaruhi biaya pembiayaan (Abdul-Malak dan Azhari, 2008), efek biaya *overhead* jangka panjang (Al Riyati, 2013), dan akan menyebabkan fluktuasi sehingga akan berdampak pada peningkatan atas klaim (Hesami dan Lavasani, 2014).

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dari berbagai sumber literatur yang relevan dengan faktor-faktor dalam penentuan estimasi biaya tidak langsung proyek konstruksi yang telah dihimpun dalam penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Identifikasi faktor yang berpengaruh dalam penentuan besar estimasi biaya tidak langsung diperoleh melalui data sekunder dengan mengkaji penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini.
- Berdasarkan tinjauan literatur yang dikaji pada penelitian ini diperoleh 59 faktor sebagai variabel faktor-faktor yang berpengaruh dalam penentuan besar estimasi biaya tidak langsung. Faktor-faktor tersebut kemudian dikelompokkan menjadi 4 kelompok faktor yang terdiri atas kelompok proyek (project factors), kelompok organisasi (organization factors), kelompok klien dan peraturan pemerintah (client and government regulation factors) serta kelompok faktor lingkungan (environmental factors).
- Identifikasi faktor yang sering menjadi ranah riset oleh penelitian terdahulu pada kelompok proyek terdiri atas faktor kompleksitas proyek, faktor lokasi proyek, faktor ukuran dan volume proyek, faktor durasi proyek, dan faktor jenis proyek atau pekerjaan.
- Identifikasi faktor yang sering menjadi ranah riset oleh penelitian terdahulu pada kelompok organisasi terdiri atas faktor kebutuhan kontraktor untuk pekerjaan, faktor ketersediaan modal kontraktor, faktor pekerjaan yang disubkontrakkan, faktor arus kas, faktor hubungan di proyek, dan faktor pengalaman proyek sejenis.
- Identifikasi faktor yang sering menjadi ranah riset oleh penelitian terdahulu pada kelompok klien dan peraturan pemerintah terdiri atas faktor jadwal pembayaran, ketegasan dalam pengawasan, dan jenis kontrak.
- Identifikasi faktor yang sering menjadi ranah riset oleh penelitian terdahulu pada kelompok lingkungan terdiri atas faktor jumlah pesaing, dan *inflasi* dan suku bunga.

PUSTAKA

- Abdul-Malak, M. A., and Azhari, S. (2008). "Use of Historical *Overhead* Costs for Estimation and Control Purposes". *Proceeding of The Architecture Engineering National Conference*. Denver, Colorado, USA, September 24-27, 1–10.
- Al Riyati, A. I. (2013). "*An Overhead Cost Assessment for Construction Projects in Gaza Strip*". Thesis, Civil Engineering Department Engineering Project Management, Islamic University of Gaza Deanery.
- Al-Shahri, M. H. (1997). "*Overhead Cost in Building Construction in Saudi Arabia*". Thesis, Construction Engineering and Management, University of Petroleum and Minerals Dhahran, Saudi Arabia.
- American Association of Cost Engineering (AACE). (1992). "*Skills and Knowledge of Cost Engineering*", *Third Edition*. West Virginia, USA.
- Asal, E. M. (2014). "*Factors Affecting Building Construction Projects Cost Estimating*". Thesis, College of Engineering and Technology, Arab Academy for Science, Technology and Maritime Transport.
- Chan, C. T. W., dan Pasquire, C. (2004). "An Analysis for The Degree of Accuracy in Construction Project Indirect Costs". *Journal of Cost Analysis and Management*, 6, 46–66.
- Enshassi, A., Aziz, A. R. A., dan Karriri, A. E. (2008). "Investigating The *Overhead* Costs in Construction Projects in Palestine". *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 13(1), 35–47.
- Hesami, S., dan Lavasani, S. A. (2014). "Identifying and Classifying Effective Factors Affecting *Overhead* Costs in Constructing Projects in Iran". *International Journal of Construction Engineering and Management*, 3(1), 24–41.
- Holland, N. L., dan Hobson Jr., D. (1999). "Indirect Cost Categorization and Allocation by Construction Contractors". *Journal Architecture Engineering*, 5, 49–56.
- Mushonga, E. (2015). "*A Costing System for The Construction Industry in Southern Africa*". Thesis, Master of Commerce, University of South Africa, South Africa.
- Nugroho, P. S., dan Mulyono, B. (2016). "Estimasi Biaya Tidak Langsung pada Proyek Konstruksi Bangunan Gedung di Yogyakarta". *Konferensi Nasional Teknik Sipil 10th*. Yogyakarta, Indonesia, Oktober 26–27, 335–341.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Permen PUPR) Nomor 28/PRT/M/2016. *Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta, Indonesia.
- Project Management Institute. (2013). "*A Guide to Project Management Body of Knowledge (PMBOK)*", *Fifth Edition*. Pennsylvania, USA.
- Santosa, B. (2009). *Konsep dan Implementasi*. Manajemen Proyek, Edisi 1. Graha Ilmu, Yogyakarta, Indonesia.
- Soemardi, B. W., dan Kusumawardani, R. G. (2010). "Studi Praktek Estimasi Biaya Tidak Langsung Pada Proyek Konstruksi". *Konferensi Nasional Teknik Sipil 4th*. Sanur-Bali, Indonesia, Juni 2–3, 573–578.
- Tah, J. H. M., Thorpe, A., McCaffer, R. (1994). "A Survey of Indirect Cost Estimating in Practice". *Construction Management and Economics*, 12, 31–36.
- Ujene, A. O., Idoro, G. I., dan Odesola, I. A. (2013). "Contractors Perception of Effects of Project *Overhead* Costs on Building Project Performance in South-South of Nigeria". *Journal Civil Engineering Dimension*, 15(2), 102–113.

PENGARUH PENAMBAHAN TANAH PUTIH/KAPUR PADA PENINGKATAN KUAT TEKAN BATA TANAH LIAT PRESS DI KUPANG NTT

Kristiana Bebhe

*Program studi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Katolik Widya Mandira Kupang
Jalan San Juan no 1 Penfui Kupang
Telp (0380)833395*

ABSTRAK

Penelitian yang berbasis tanah liat ini, merupakan sebuah penelitian untuk menjawab kebutuhan akan bahan dinding yang selain murah, mudah dibuat serta mampu / kuat untuk berfungsi sebagaimana mestinya. Kupang merupakan daerah unik yang memiliki potensi tanah merah (tanah liat) dan tanah putih (kapur) yang sangat kaya. Bila kedua bahan ini dikolaborasikan, ternyata mampu menciptakan bahan bangunan baru. Selama ini masyarakat mengenal tanah liat sebagai bahan dasar pembuatan bata yang dibakar. Pembakaran bata dapat menyebabkan pemborosan energy karena untuk menghasilkan bata dengan kualitas bagus membutuhkan proses pembakaran yang lama (24 jam) dan menghabiskan beberapa kubik kayu. Proses pembakaran tentunya juga beresiko terhadap adanya asap yang sangat mengganggu pernapasan. Penelitian pembuatan bata tanpa proses pembakaran, tetapi melalui proses pematangan 21 hari, ternyata dapat menghasilkan bata dengan kekuatan yang baik, yang mampu digunakan dalam konstruksi. Penambahan sejumlah kapur ke dalam tanah liat diteliti mampu menambah kekuatan bata, sehingga bata yang dihasilkan dapat di pakai pada beberapa konstruksi sesuai persyaratannya. Dalam penelitian ini, ternyata setiap menambah 0,5 bagian kapur, menambah kuat tekan rata-rata sebesar 27,2 %.

Kata kunci: tanah liat, kapur, bata tanah liat kapur press , kuat tekan

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan perumahan di kota-kota di Indonesia berbanding lurus dengan jumlah penduduk akibat tingginya angka kelahiran dan urbanisasi. Hal ini seperti juga dinyatakan oleh pakar bahan bangunan bata, Vincentius T. Noerwasito, “Kebutuhan akan rumah tinggal tiap tahun makin meningkat di Indonesia sejalan dengan pertumbuhan penduduk, peningkatan tersebut diikuti oleh makin bertambahnya jenis bahan bangunan di Indonesia.

Menyeggung kebutuhan rumah tinggal, tidak terlepas dari bahan-bahan untuk membangun rumah itu sendiri. Secara umum rumah terdiri dari komponen utama; Alas (pondasi, lantai), dinding dan atap. Saat ini bahan dinding di Kupang, didominasi oleh batako dan bata merah dan jarang menggunakan bata tanah liat press. Bata tanah liat press adalah bata yang terbuat dari tanah liat tetapi tidak dibakar seperti batu-bata, tetapi dengan dipress pada alat cetak/ mesin cinva-ram. Untuk memperkuat atau menstabilkan kekuatan bata, biasanya ditambahkan kapur/tanah putih, serat rumput, kotoran hewan herbivora ataupun semen dan bahan lainnya. Penelitian dengan judul ” Pengaruh penambahan kapur pada kuat tekan bata tanah liat press merupakan penelitian untuk melihat seberapa besar pengaruh kapur dalam menambah kekuatan tekan bata. Dalam penelitian sebelumnya, peneliti menggabungkan tanah liat, kapur, kotoran sapi dan serat rumput savana. Dalam penelitian tersebut ada kecenderungan pertumbuhan kekuatan akibat penambahan kapur dan serat rumput. Dalam penelitian ini lebih fokus pada bahan kapur yang dalam bahasa setempat dikenal sebagai tanah putih, tanpa penambahan serat rumput dan kotoran sapi.

Keadaan geologi kupang yang kaya akan kapur/ tanah putih dimanfaatkan sebagai bahan tambahan pada tanah liat untuk pembuatan bata press tanah liat ini.

1.2 Rumusan Masalah

Apakah ada pengaruh penambahan kapur dalam tanah liat, agar menghasilkan kekuatan, terutama kuat tekan yang sesuai dengan persyaratan kuat tekan yang harus dimiliki oleh bata yang digunakan sebagai bahan dinding?

1.3 Tujuan Penelitian

- Memberi alternatif bahan bata tanah liat pada masyarakat setempat yang tidak perlu melalui proses pembakaran tetapi tetap kuat dan bagus untuk dapat diaplikasikan penggunaannya pada bangunan
- Mengenalkan dan memanfaatkan potensi bahan alami setempat, seperti tanah liat dan tanah putih/kapur untuk dikompositkan dalam rangka membentuk bahan bangunan dinding yang ekologis.
- Mendapatkan data teknis tentang kekuatan dan kemampuan bahan ini untuk digunakan pada konstruksi. Mengembangkan pengetahuan dan menambah wawasan untuk peneliti.

1.4 Tinjauan Pustaka

1.4.1 Tanah Untuk Material Dinding

Menurut Nande M. Momon dan Lasino dalam jurnal Pemukiman tentang, Bata tanah stabilisasi dengan bahan penstabil semen pozolan kapur, Jurnal Pemukiman Vol. IX no.5-6 edisi Mei-Juni 1993 “*Tanah yang baik untuk bahan material dinding adalah tanah yang mempunyai gradasi yang baik dengan besar butir 0 - 20 mm. Sedapat mungkin tanah harus mengandung pasir dan kelikir, di mana komponen ini berfungsi sebagai pengisi yang dapat memperkuat bahan dinding karena akan menjadi lebih stabil*” .(Nande M. Momon dan Lasino : 11).

1.4.2 Karakter Tanah Putih/ Kapur Kupang

Tanah putih / Kapur memiliki karakter fisik sebagai berikut:

- Bertekstur, mengandung pasir serta kelikir karang dan sedikit tanah liat.
- Mengandung clay dan memiliki daya lekat bila ditambahkan air.
- Berwarna putih kekuning-kuningan dan ada juga yang sedikit kecoklatan tergantung dari kandungan unsur penyusunnya.

Tanah kapur atau tanah putih ini diperoleh dengan menggali tanah sedalam ± 30 cm atau lebih. Oleh masyarakat setempat, tanah putih/kapur ini dipakai sebagai bahan pengikat batako serta digunakan sebagai bahan urugan tanah, jalan dan lainnya.

1.4.3 Kapur sebagai pengikat hidrolis

Bahan pengikat hidrolis adalah bahan yang bilamana dicampurkan dengan air dalam waktu tertentu akan mengeras serta mengikat bahan tambahan. Semen portland yang kita kenal sebagai bahan pengikat beton, sebenarnya tersusun dengan prosentase terbesar adalah kapur. Sebagai gambaran, untuk menghasilkan 1 ton semen portland membutuhkan 1200 kg kapur.

1.4.4 Uji Material

Uji material dilakukan untuk mengetahui karakter/sifat dari material, dalam hal ini material yang dipakai dalam penelitian pembuatan bahan dinding ini. Pengujian material tanah liat, tanah putih, dan semen berupa pengujian berat, kadar air, uji penyerapan air, plastisitas, granular dan komposisi zat-zat penyusunnya.

1.4.5 Syarat Kuat Tekan Bata Tanah liat

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk melihat seberapa besar kekuatan bata. Pengujiannya menggunakan mesin pengukur kuat tekan yang lengkap dengan indikator penunjuk kuat tekan. Menurut Francis D.K Ching dan Cassandra Adams, bata tanah liat maupun tanah padat/pise, umumnya memiliki nilai tensile strength yang rendah tapi memiliki compressive strength sebesar 14 kPa.

1.5 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan *Metoda Eksperimental* /metoda pengujian pembuatan bata. Data-data yang diperoleh pada proses penelitian selanjutnya akan dianalisis untuk menentukan pengaruh penambahan kapur/tanah putih pada material tanah liat dalam pembuatan bata tanah liat press.

Tabel 1. Variabel penelitian

Variabel Terikat	Variabel Bebas	Variabel tergantung
Jenis material penyusunan	Perbandingan campuran dan sistem produksi	Karakteristik fisik benda uji
Lokasi penelitian /pengujian dan waktu		Kuat tekan benda uji
Uji mekanika material tanah liat dan kapur		Rekomendasi pemakaian pada konstruksi.
Sistem konstruksi		

Kuantitatif dipakai untuk menganalisis perbandingan campuran antar bahan dasar pembentuk bata yaitu tanah liat dan kapur yang paling sesuai untuk digunakan dengan menggunakan perhitungan matematis.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

2.1 Tempat dan Waktu penelitian

Secara umum, penelitian ini telah dilakukan di Kabupaten Kupang Nusa Tenggara Timur (NTT), yang berlangsung dari tanggal 25 Juni hingga 01 Agustus 2009. dengan rincian tempatnya sebagai berikut: Penelitian terhadap material penyusun tanah liat dan kapur, dilakukan di Laboratorium pengujian bahan Dinas Pekerjaan Umum Provinsi NTT di Kupang. Pengujian dilakukan di laboratorium Dinas PU provinsi karena;

- Laboratorium ini cukup memadai dan representatif, karena memiliki peralatan terlengkap untuk berbagai pengujian yang berkaitan dengan bahan bangunan dan konstruksi di NTT.
- Laboratorium memiliki staf-staf yang sudah terlatih dan terpercaya.

2.2 Bahan eksperimen

2.2.1 Tanah liat

Tanah liat yang dipakai dalam penelitian ini, adalah tanah yang diambil dari 2 tempat berlainan di wilayah Kupang. Contoh-contoh tanah liat ini diambil dari daerah pembuatan bata merah di Oebelo dan Matani. Yang dari Matani diambil dari sekitar *workshop* untuk penelitian ini, sedangkan daerah Oebelo berjarak ± 5 km dari *workshop*.

2.2.2 Kapur

Kapur yang digunakan sebagai penstabil ini, adalah kapur yang berasal dari tanah kapur dan serpihan-serpihan batu kapur, yang oleh masyarakat setempat disebut tanah putih. Kapur atau tanah putih ini, peneliti ambil dari sekitar *workshop* pembuatan bata yang merupakan tanah galian dari lokasi pembuatan Lapangan Sepak Bola Unika Widya Mandira Kupang.

2.3 Uji Material Tanah liat

Adapun hasil uji material tanah adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Data Pengujian Tanah

No	Jenis Uji	Contoh		Keterangan
		TP A	TP B	
1	Tipe tanah	SC	SC	SC = Lempung lanau
2	Plastisitas			
	a. Batas Cair	44,10 %	44,04 %	
	b. Batas Plastis	36,39 %	32,72 %	
	c. Plastis indeks	08,33 %	07,32 %	
3	Klasifikasi	Tanah organik dan cukup plastis	Tanah organik dan cukup plastis	
4	Berat jenis	2,661	2,654	
5	Berat air	12,97 gr	12,55 gr	
6	Berat isi basah	54,80 gr	53,70 gr	
7	Kepadatan (standart)			
	a. Kadar air optimum	45,12 %	44,24 %	
	b. Berat kering	28,17 gr	28,04 gr	
8	Besar butir partikel			
	Butir yang tertahan pada ayakan:			
	> 2,00 mm	0,0 %	0,0 %	
	0,850 - 0,425 mm	1,0 %	1,0 %	
	0,250 - 0,150 mm	3,6 %	3,6 %	
	> 0,075 mm	3,6 %	3,6 %	

Keterangan :

TP A; Tanah lokasi 1 (Oebelo)

TP B; Tanah Lokasi 2 (Matani)

Dari data sifat tanah yang diteliti, dapat dinyatakan bahwa tanah ini cukup layak untuk dijadikan bata, karena; merupakan tanah lempung, dengan Plastisitas indeks yang memenuhi syarat (2,5 – 22 %), serta cukup plastis dan tidak mengandung bahan impuritant..

2.4 Uji Material Tanah Putih / Kapur

Uji terhadap material telah dilakukan sebelumnya, berikut data pengujian.

Tabel 3. Data pengujian kapur Kupang

No	Macam Pengujian	Hasil Uji	Syarat
1	Kekekalan bentuk butiran	Tidak retak	
3	Waktu pengikatan x 24 jam	3 x 24 jam	
4	Berat jenis rata-rata	2,626 gr/cm ³	
5	Kuat tekan,.....kg/cm ² a. Umur 7 hari..... b. Umur > 7 hari,.....	13,04 kg/cm ²	
6	Butir yang tertahan pada ayakan: > 2,00 mm 2,00 mm – 0,850 mm 0,850 – 0,425 mm 0,250 – 0,150 mm > 0,075 mm	5% 10% 1% 3,5 % 3,0%	

Berdasarkan data penelitian yang telah dilakukan pada Laboratorium pengujian bahan Dinas PU Provinsi NTT tanah putih atau kapur Kupang mengandung butiran pasir karang antara 30 – 65%. Pasir pada kapur kupang, dapat menutup kekurangan pasir pada tanah liat. Waktu pengikatan dan kuat tekannya cukup memenuhi syarat untuk menjadi bahan penstabil tanah liat.

2.5 Eksperimen Pembuatan Bata

2.5.1 Penyiapan Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Ayakan sederhana berdiameter 5 mm, untuk mengayak tanah liat dan kapur dengan besar butiran terlampau besar.
2. Timbangan, gelas ukur, sekop untuk membuat takaran, pemukul untuk memukul tanah dan kapur yang masih dalam ukuran besar, ember-ember, gerobak untuk mengangkut adonan.
3. Mesin cinva-ram untuk pembuatan batu-bata.
4. Oli bekas untuk melumas mesin press untuk menjamin kelancaran kerja dan papan untuk media pematangan

2.5.2 Penyiapan Material Penyusun

2.5.2.1 Tanah liat

Tanah liat dari 2 lokasi berbeda, yaitu dari tempat pembuatan batu-bata di Oebelo dan Matani. Tanah liat diambil pada kedalaman lebih dari 20 cm, atau di bawah lapisan top-soil. Tanah dari 2 lokasi diangkut menggunakan karung-karung ke *work shop*. Selanjutnya, tanah-tanah yang masih dalam bentuk gumpalan ini disebar untuk dipukul-pukul agar hancur. Selanjutnya tanah liat dibersihkan dari kotoran berupa akar, dedaunan dan lainnya. Sesudah tanah kering, tanah ini kemudian diayak dengan ayakan sederhana berdiameter 5 mm.

2.5.2.2 Tanah Putih/Kapur

Tanah putih diangkut dari tempat penggalian ke *work-shop*. Sama seperti tanah liat, tanah putih ini kemudian disebar untuk menurunkan kelembabannya dan memecahkan kapur yang berukuran besar. Setelah kering, bahan ini diayak dengan ayakan berdiameter 5 mm juga. Kapur yang digunakan pada eksperimen ini berasal dari sekitar lokasi workshop, dan merupakan tanah galian untuk pembangunan Gedung Olah Raga Unika Widya Mandira Kupang

2.5.2.3 Pembuatan Adonan Bata Perbandingan campuran

Dalam eksperimen yang dilakukan, menggunakan 3 jenis perbandingan campuran yang berbeda untuk melihat perbandingan kekuatan dari masing-masing perbandingan. Adapun perbandingannya adalah, sebagai berikut:

Tabel 4. Perbandingan campuran yang dipakai

Benda Uji	Tanah Liat	Kapur/tanah putih	Jumlah Benda uji
A1	2	1	3
A2	2,5	1	3
A3	3	1	3
B1	2	1	3
B2	2,5	1	3
B3	3	1	3

Keterangan:

-.A = benda uji dari Lokasi 1

-.B= benda uji dari Lokasi 2

Mekanisme Pembuatan Adonan

Bahan-bahan/material yang sudah disiapkan, yaitu tanah liat dan kapur/tanah putih harus ditakar sesuai dengan rencana perbandingan yang telah dibuat. Semua bahan, kecuali air dicampur secara merata supaya menjadi campuran yang homogen dengan menggunakan sekop dan tangan. Setelah tercampur merata, ditambahkan air bersih sekitar 8 - 10% dari total adonan. Cara seperti ini disebut sebagai cara ½ kering.

Uji Kekuatan Tekan Bata

Bata yang akan diuji kekuatannya berjumlah total 23 biji, dengan rincian 18 biji melalui proses pematangan sedangkan 5 biji yang melalui proses pematangan dan pengovenan. Bata yang 18 biji diuji pada hari pertama, sedangkan sisa 5 bijinya diuji pada hari ke-3 menunggu pengovenan dan didinginkan dulu.

Bata sejumlah 18 biji dalam berbagai komposisi perbandingan campuran yang diuji ini, dimatangkan hanya dengan diangin-anginkan di bawah *work-shop* yang tidak berdinding selama 21 hari. Pengujian di laboratorium yang berjarak ± 5 km dari workshop ini, kuat tekan maksimal yang dapat dicapai adalah 17, 59 kg/cm².

Hasil Pengukuran Kuat Tekan Benda Uji yang Melalui Proses Pematangan Dan Pengovenan

Uji ini untuk melihat perbandingan kuat tekan benda uji yang hanya melalui proses pematangan biasa dengan kuat tekan benda uji yang dioven. Dari 5 benda yang dioven, salah satu benda uji mengalami keretakan, sehingga mendapatkan nilai kuat tekan yang sangat kecil yaitu 07,74 kg/cm². Kuat tekan maksimal yang dicapai adalah 38,69 kg/cm².

Tabel 5. Kuat tekan benda uji yang melalui proses pematangan dan pengovenan untuk mengurangi kadar air

Bata yang dioven untuk kurangi kadar air	Berat (kg)	Ukuran (p x l x t) (cm)	Kuat tekan (kg/cm ²)
B 1	5,63	12 x 24,5 x 12	17,94
B 2	5,14	12 x 24,5 x 12	07,74
B 3	5,63	12 x 24,5 x 12	38,69
B 4	5,26	12 x 24,5 x 12	24,62
B 5	5,48	12 x 24,5 x 12	17,94

Keterangan:

B1= bata press uji 1

B2= bata press uji 2, dst

Bata diambil tanpa memperhatikan lokasi asal A atau B tetapi perbandingan campuran yang dipakai adalah 2:1

Pembahasan Hasil Uji Kuat Tekan Bata

Bata hasil eksperimen, menunjukkan kuat tekan yang berbeda. Makin banyak kapur dalam campuran, menunjukkan hasil kuat tekan yang makin besar. Kekuatannya bertambah saat benda-benda uji ini dioven untuk mengurangi kadar air yang dikandung. Dalam hal ini berarti untuk menambah kuat tekan bata ada beberapa hal yang diperhatikan:

- Menambah prosentase kapur ke dalam campuran, karena dari hasil kuat tekan, menunjukkan peningkatan kekuatan
- Bata ditunggu sampai benar-benar matang lebih dari 21 hari, di saat kadar airnya telah kering. Dari eksperimen pengovenan untuk menurunkan kadar airnya telah meningkatkan kekuatan tekannya.
- Menambah agregat pasir di dalam adonan campuran setelah dihitung kandungan pasir di dalam tanah liat dan kapur/tanah putih. Dari penelitian, tanah dari lokasi B yang memiliki kandungan pasir lebih banyak menunjukkan kuat tekan yang rata-rata lebih tinggi dari tanah lokasi A.

Diagram kuat tekan bata press dari lokasi A dan B yang melalui proses pematangan biasa selama 21 hari dan yang mengalami pengovenan. Tanah dari lokasi B menunjukkan Berikut nilai kuat tekan yang pengovenan. Tanah dari lokasi B menunjukkan nilai kuat tekan yang rata-rata lebih tinggi dari setiap tingkat perbandingan dari tanah lokasi A.

Walaupun yang melalui proses pematangan tidak memiliki kuat tekan yang tinggi, namun dalam pengujian kuat tekan bata ini tidak menjadi hancur total setelah melewati batas kekuatan yang mampu dipikulnya. Bata hanya mengalami retak-retak di sudut-sudutnya. Berbeda dengan yang dioven, mengalami kehancuran saat melampaui batas kekuatannya. Dari hasil pengukuran terlihat, setiap menambah, kapur/tanah putih sebesar 0,5 bagian akan menaikkan nilai kuat tekan bata hasil penelitian. Bata dari lokasi A dan lokasi B mengalami peningkatan kekuatan rata-rata sebesar 27,2 %.



Gambar 1. Penguji kuat tekan dan bata yang telah diuji

3. KESIMPULAN

- Dari percobaan yang telah dilakukan dan pembahasan terhadap bata tanah liat dengan penambahan kapur/tanah putih maka dapat diambil kesimpulan; Dari hasil pengukuran terlihat, setiap menambah, kapur/tanah putih sebesar 0,5 bagian akan menaikkan nilai kuat tekan bata hasil penelitian. Bata dari lokasi A dan lokasi B mengalami peningkatan kekuatan rata-rata sebesar 27,2 % .
- Selain penambahan kapur , Pengovenan selama 24 jam dengan suhu 850 ° C. Kuat tekan maksimal yang dicapai adalah 38,69 kg/cm.
- Bata anah liat kapur memiliki kekuatan yang cukup untuk dapat dipergunakan dalam konstruksi, yaitu konstruksi dengan penopang/perkuatan. Sedangkan sebagai dinding pemikul, harus ada eksperimen lanjutan sampai memperoleh kuat tekan yang disyaratkan. Bata hasil penelitian dengan dengan perbandingan tanah liat dan kapur 1 : 2, dapat mencapai kuat tekan lebih dari 17 kg/cm² dan yang dicoba untuk lebih menurunkan kadar airnya

- d. Bata tanah liat kapur press adalah bahan yang memiliki sifat berkelanjutan karena ramah lingkungan, proses produksi dan penggunaannya menggunakan teknologi sederhana, bisa dikerjakan oleh masyarakat, tidak berbahaya bagi kesehatan serta sesuai dengan aspirasi masyarakat yang lebih menginginkan rumah yang berkesan ‘tembok’.

PUSTAKA

Bebhe, Kristiana. (2012). “Bata Tanah Liat Kapur Press Dengan Tambahan Rumput Savana dan Kotoran Sapi Sebagai Alternatif Bahan Dinding Ekologis di Kupang”. Jurnal Tekstur, Vol 01.

Bebhe, Kristiana. (2016). “Bata Yang Distabilisasi Dengan Semen Kupang,”. Jurnal Tekstur, Vol 03.

Heinz Frick dan Ch. Koesmartadi. (2006). “Ilmu Bahan Bangunan”. Penerbit: Kanisius, Yogyakarta.

Juwono, Subarjo dan Achmad Efendi. (1995). “Penelitian Tanah Liat Di Daerah Kalimantan Selatan Dan Jambi Sebagai Bahan Bangunan Bata Dan Genteng Keramik”. Jurnal Pemukiman Vol.XI No.1-2 edisi Januari-Februari 1995, Dep. PU.

Nande Maryuani Momon dan Lasino. (1993). “Bata Tanah Stabilisasi Dengan Bahan Penstabil Semen Pozolan Kapur”. Jurnal Pemukiman Vol. IX no.5-6 edisi Mei-Juni 1993, Dep. PU, 1993.

Noerwasito, Vincentius Totok. (2001). “Bata Lempung, Bahan bangunan dinding alternatif”. Jurnal Dimensi Teknik Arsitektur Vol.29 No.2 Des 2001, hlm 134-140.

Randing. (1992). “Batu Buatan Yang Tidak Dibakar, Seri Pengetahuan Teknik Menengah, Hak Penerbitan Yayasan Penyelidikan Masalah Bangunan”. Bandung.

Suripto, M.A. (1992). “Teknologi Bahan Bangunan Dari Tanah Liat”. Balai Besar Industri Keramik, Bandung.

Yayasan penyelidikan masalah bangunan. (1980). “Syarat-Syarat Untuk Kapur Bangunan Ni-7”. Penerbit Departemen PU, Direktorat Jendral Cipta Karya, 1980.

REDUKSI UKURAN MODEL UNTUK ANALISIS DINAMIK DENGAN CARA KONDENSASI DINAMIK

Yoyong Arfiadi^{1*}, Richard Frans²

¹Program Sudi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jl. Babarsari 44, Yogyakarta

²Departemen Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Makassar
Jl. Tanjung Alang 23, Makassar

*Korespondensi e-mail: yoyong@mail.uajy.ac.id

ABSTRAK

Dalam tulisan ini dibahas reduksi ukuran matriks dalam analisis dinamik. Pengurangan jumlah derajat kebebasan kadang-kadang diperlukan, terutama jika permasalahan yang diselesaikan mempunyai ukuran derajat kebebasan yang besar. Dalam tulisan ini ditinjau metode penyelesaian reduksi ukuran matriks dengan menggunakan iterasi melalui teknik kondensasi dinamik. Matriks-matriks yang terlibat dalam analisis dinamik diperoleh dengan cara iterasi, dengan membandingkan nilai-nilai *eigenvalue* dari sistem yang ditinjau. Iterasi dihentikan jika nilai *eigenvalue* pada dua langkah terakhir mempunyai nilai yang sama atau hampir sama. Selanjutnya pada bagian akhir ditunjukkan analisis model tereduksi pada suatu struktur portal tiga lantai dengan massa terpusat pada lantai. Berdasarkan metode ini, model tereduksi dapat memprediksi secara akurat nilai-nilai perpindahan pada derajat kebebasan yang lain

Kata Kunci: model tereduksi, kondensasi statik, kondensasi dinamik, *eigenvalue*

1. PENDAHULUAN

Dalam analisis struktur baik oleh beban statik atau dinamik, struktur yang asalnya berupa struktur yang kontinum umumnya dimodelkan sebagai struktur-struktur diskrit. Dalam beberapa kasus jumlah derajat kebebasan model terdiskretisasi seperti ini dapat sangat besar sekali. Untuk itu kadang-kadang diperlukan model-model yang lebih kecil ukurannya sebagai model tereduksi.

Usaha untuk mengurangi jumlah derajat kebebasan dalam analisis dinamik telah menjadi perhatian para peneliti. Hal ini terutama diinginkan dalam penyelesaian *eigenvalue* dan *eigenvector*. Usaha untuk mengurangi jumlah derajat kebebasan telah banyak dilakukan. Guyan (1965) menggunakan metode kondensasi statik untuk memperoleh ukuran matriks kekakuan dan matriks massa yang lebih kecil dalam analisis. Derajat kebebasan struktur dibagi menjadi *master degree of freedom* dan *slave degree of freedom*. *Master degree of freedom* adalah derajat kebebasan struktur yang akan dipertahankan dalam model, sedangkan *slave degree of freedom* adalah derajat kebebasan yang akan dikondensasi. Matriks transformasi diperoleh dengan pertama-tama menganggap permasalahan yang dibahas sebagai analisis statik. Matriks transformasi untuk mendapatkan kekakuan tereduksi selanjutnya digunakan untuk mendapatkan perpindahan pada struktur secara keseluruhan. Transformasi yang sama kemudian digunakan juga untuk mendapatkan massa tereduksi untuk analisis dinamik. Walau metode ini cukup sederhana, namun hasil yang diperoleh kadang-kadang kurang akurat. Beberapa peneliti kemudian banyak mengajukan metode untuk memperbaiki metode Guyan.

Untuk meningkatkan akurasi metode Guyan, metode *eigenvalue shifting* diajukan oleh Qu dkk. (2001). Metode lain seperti Friswell dkk. (1995) mengajukan metode IIRS (*Iterated Improved Reduced System*), yang merupakan perluasan dari metode Guyan, dengan memperhatikan sifat-sifat dinamik struktur. Xia dan Lin (2004) mengajukan metode IOR (*Iterative Order Reduction*), sebagai metode kondensasi dinamik, untuk meningkatkan kecepatan dalam iterasi. Weng dkk (2017) dan Zhu dkk (2018) menilai sensitivitas respons yang dilakukan dengan kondensasi dinamik.

Dalam tulisan ini metode reduksi berdasarkan analisis *eigenvalue* seperti yang dibahas dalam Weng dkk. (2017) dan Zhu dkk (2018) digunakan untuk mendapatkan reduksi ukuran-ukuran persamaan. Sebagai iterasi awal digunakan iterasi berdasarkan Guyan. Iterasi selanjutnya dilakukan berdasarkan formulasi matriks transformasi secara efisien, sampai nilai *eigenvalue* dari dua langkah yang terakhir menghasilkan nilai yang sama atau hampir sama (Weng dkk., 2017). Setelah itu hasil analisis berdasarkan sistem tereduksi dibandingkan dengan sistem awal untuk menilai akurasi dari metode ini.

Pada bagian akhir ditinjau suatu portal 3 lantai yang dimodelkan dengan massa terpusat pada lantai. Dengan metode kondensasi dinamik, disimulasi reduksi model dengan satu dan dua derajat kebebasan. Dari analisis yang dilakukan, respons yang diperoleh berdasarkan sistem tereduksi menyamai respons yang diperoleh pada model awal, sehingga dapat disimpulkan bahwa metode ini menghasilkan respons yang akurat dan sesuai dengan model semula.

2. FORMULASI MASALAH

Ditinjau persamaan gerak suatu sistem berderajat kebebasan majemuk:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{U}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{U}(t) = \mathbf{F}(t) \quad (1)$$

dengan \mathbf{M} , \mathbf{C} , \mathbf{K} , \mathbf{F} dan \mathbf{U} adalah berturut-turut matriks massa, matriks redaman, matriks kekakuan, vektor gaya, dan vektor perpindahan. Notasi (t) menunjukkan fungsi waktu dan tanda titik di atas variabel menunjukkan turunan terhadap waktu. Pada persamaan-persamaan berikutnya notasi waktu dihilangkan untuk menyederhanakan penulisan,

Ukuran matriks pada persamaan (1) dapat sangat besar untuk permasalahan yang besar dan kompleks. Untuk itu persamaan (1) dapat ditulis:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M}_{mm} & \mathbf{M}_{ms} \\ \mathbf{M}_{ms}^T & \mathbf{M}_{ss} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\mathbf{U}}_m \\ \ddot{\mathbf{U}}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{mm} & \mathbf{C}_{ms} \\ \mathbf{C}_{ms}^T & \mathbf{C}_{ss} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\mathbf{U}}_m \\ \dot{\mathbf{U}}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{mm} & \mathbf{K}_{ms} \\ \mathbf{K}_{ms}^T & \mathbf{K}_{ss} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{U}_m \\ \mathbf{U}_s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{F}_m \\ \mathbf{F}_s \end{Bmatrix} \quad (2)$$

Subscript m dan s pada persamaan (2) menunjukkan berturut-turut sebagai *master* dan *slave* derajat kebebasan. Ukuran *master degree of freedom* = n_m dan *slave degree of freedom* = n_s , sehingga derajat kebebasan total $n = n_m + n_s$. *Master degree of freedom* sebagai derajat kebebasan utama merupakan derajat kebebasan yang akan dipertahankan, sedangkan *slave degree of freedom* sebagai derajat kebebasan bantu akan dikondensasi. Oleh karena itu metode ini disebut juga metode kondensasi. Selanjutnya penyelesaian didasarkan hanya pada derajat kebebasan utama saja, yang ukurannya lebih kecil daripada ukuran derajat kebebasan total.

Suatu matriks transformasi \mathbf{T} diperlukan untuk mentransformasikan derajat kebebasan struktur dengan derajat kebebasan utama sebagai berikut:

$$\mathbf{U} = \begin{Bmatrix} \mathbf{U}_m \\ \mathbf{U}_s \end{Bmatrix} = \mathbf{T} \mathbf{U}_m = \begin{Bmatrix} \mathbf{I}_m \\ \mathbf{T}_t \end{Bmatrix} \mathbf{U}_m \quad (3)$$

3. METODE KONDENSASI STATIK GUYAN

Guyan (1965) mengusulkan penyelesaian reduksi derajat kebebasan dengan menganggap permasalahan dinamik sebagai analisis statik, lalu menggunakan transformasi yang sama untuk mendapatkan variabel tereduksi. Persamaan (1) dan (2) disederhanakan menjadi persamaan statik dan dapat ditulis menjadi:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K}_{mm} & \mathbf{K}_{ms} \\ \mathbf{K}_{ms}^T & \mathbf{K}_{ss} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{U}_m \\ \mathbf{U}_s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{F}_m \\ \mathbf{F}_s \end{Bmatrix} \quad (4)$$

Dengan menganggap $\mathbf{F}_s = \mathbf{0}$, \mathbf{U}_s dapat diperoleh dari persamaan submatriks yang kedua sebagai berikut:

$$\mathbf{U}_s = -\mathbf{K}_{ss}^{-1} \mathbf{K}_{ms}^T \mathbf{U}_m \quad (5)$$

Selanjutnya derajat kebebasan struktur dapat diperoleh dari persamaan (3) $\mathbf{U} = \begin{Bmatrix} \mathbf{U}_m \\ \mathbf{U}_s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{I}_m \\ \mathbf{T}_t \end{Bmatrix} \mathbf{U}_m$ sebagai berikut:

$$\mathbf{U} = \begin{Bmatrix} \mathbf{I}_m \\ -\mathbf{K}_{ss}^{-1} \mathbf{K}_{ms}^T \end{Bmatrix} \mathbf{U}_m = \begin{Bmatrix} \mathbf{I}_m \\ \mathbf{t}_G \end{Bmatrix} \mathbf{U}_m = \mathbf{T}_G \mathbf{U}_m \quad (6)$$

Jika persamaan (5) disubstitusikan pada submatriks persamaan (4) yang pertama diperoleh hubungan:

$$(\mathbf{K}_{mm} - \mathbf{K}_{ms} \mathbf{K}_{ss}^{-1} \mathbf{K}_{ms}^T) \mathbf{U}_m = \mathbf{F}_m \quad (7)$$

Pada persamaan (7) matriks kekakuan tereduksi menjadi

$$\mathbf{K}_R = (\mathbf{K}_{mm} - \mathbf{K}_{ms} \mathbf{K}_{ss}^{-1} \mathbf{K}_{ms}^T) \quad (8a)$$

atau jika digunakan matriks transformasi sesuai persamaan (6):

$$\mathbf{K}_R = \mathbf{T}_G^T \mathbf{K} \mathbf{T}_G \quad (8b)$$

Apabila digunakan matriks transformasi yang sama, maka:

$$\mathbf{M}_R = \mathbf{T}_G^T \mathbf{M} \mathbf{T}_G \quad (9)$$

$$\mathbf{C}_R = \mathbf{T}_G^T \mathbf{C} \mathbf{T}_G \quad (10)$$

Persamaan(8)-(10) banyak digunakan untuk mereduksi jumlah derajat kebebasan dalam analisis dinamik melalui matriks transformasi Guyan, \mathbf{T}_G . Namun karena metode ini hanya menggunakan teknik kondensasi statik,

maka dalam beberapa hal tingkat akurasi dari metode ini masih perlu ditingkatkan.. Untuk itu beberapa peneliti mengajukan cara untuk memperbaiki permasalahan ini melalui teknik kondensasi dinamik.

4. METODE KONDENSASI DINAMIK

Untuk meningkatkan akurasi metode Guyan, telah banyak peneliti yang mengajukan proposal untuk memperbaiki permasalahan ini. Paz (1984) mengajukan metode kondensasi dinamik melalui metode *shifted eigenvalue*. Friswell dkk (1995) mengajukan metode IIRS (*Iterated Improved Reduced System*) dengan melakukan iterasi matriks transformasi dengan teknik tertentu. Pengembangan metode iterasi untuk mempercepat konvergensi diusulkan oleh Xia dan Lin (2004) dan berturut-turut digunakan oleh Weng dkk. (2017) dan Zhu dkk. (2018) untuk mengukur sensitivitas variabel dalam respons dinamik.

Apabila matriks redaman dianggap sebagai redaman Rayleigh, maka matriks redaman merupakan fungsi dari matriks massa dan kekakuan. Untuk menyederhanakan analisis, persamaan gerak sistem yang bergetar bebas dapat ditulis menjadi:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M}_{mm} & \mathbf{M}_{ms} \\ \mathbf{M}_{ms}^T & \mathbf{M}_{ss} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\mathbf{U}}_m \\ \ddot{\mathbf{U}}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{mm} & \mathbf{K}_{ms} \\ \mathbf{K}_{ms}^T & \mathbf{K}_{ss} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{U}_m \\ \mathbf{U}_s \end{Bmatrix} = \mathbf{0} \quad (11)$$

Baris kedua persamaan (11) menghasilkan:

$$\mathbf{U}_s = -\mathbf{K}_{ss}^{-1}(\mathbf{M}_{ms}^T \ddot{\mathbf{U}}_m + \mathbf{M}_{ss} \ddot{\mathbf{U}}_s + \mathbf{K}_{ms}^T \mathbf{U}_m) \quad (12)$$

Dengan mengingat persamaan (3) dan (6), persamaan (12) menjadi:

$$\mathbf{T}_t \mathbf{U}_m = -\mathbf{K}_{ss}^{-1}(\mathbf{M}_{ms}^T + \mathbf{M}_{ss} \mathbf{T}_t) \ddot{\mathbf{U}}_m + \mathbf{t}_G \mathbf{U}_m \quad (13)$$

dengan

$$\mathbf{t}_G = -\mathbf{K}_{ss}^{-1} \mathbf{K}_{ms}^T \quad (14)$$

Selanjutnya persamaan getaran bebas pada sistem tereduksi dapat ditulis menjadi:

$$\mathbf{M}_R \ddot{\mathbf{U}}_m + \mathbf{K}_R \mathbf{U}_m = \mathbf{0} \quad (15)$$

sehingga percepatan pada derajat kebebasan utama menjadi:

$$\ddot{\mathbf{U}}_m = \mathbf{M}_R^{-1} \mathbf{K}_R \mathbf{U}_m \quad (16)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (16) ke persamaan (13) menghasilkan:

$$\mathbf{T}_t \mathbf{U}_m = \mathbf{K}_{ss}^{-1}(\mathbf{M}_{ms}^T + \mathbf{M}_{ss} \mathbf{T}_t) \mathbf{M}_R^{-1} \mathbf{K}_R \mathbf{U}_m + \mathbf{t}_G \mathbf{U}_m \quad (17)$$

sehingga:

$$\mathbf{T}_t = \mathbf{K}_{ss}^{-1}(\mathbf{M}_{ms}^T + \mathbf{M}_{ss} \mathbf{T}_t) \mathbf{M}_R^{-1} \mathbf{K}_R + \mathbf{t}_G \quad (18)$$

Persamaan (18) dapat disederhanakan menjadi:

$$\mathbf{T}_t = \mathbf{t}_d + \mathbf{t}_G \quad (19)$$

dengan

$$\mathbf{t}_d = \mathbf{K}_{ss}^{-1}(\mathbf{M}_{ms}^T + \mathbf{M}_{ss} \mathbf{T}_t) \mathbf{M}_R^{-1} \mathbf{K}_R \quad (20)$$

Persamaan (20) mengandung matriks \mathbf{M}_R dan \mathbf{K}_R sehingga merupakan persamaan yang saling terkait. Untuk menyelesaikan persamaan (20) matriks kekakuan tereduksi dihitung dulu dengan

$$\mathbf{K}_R = \mathbf{T}^T \mathbf{K} \mathbf{T} \quad (21)$$

Dengan mensubstitusikan matriks transformasi $\mathbf{T} = \begin{Bmatrix} \mathbf{I}_m \\ \mathbf{T}_t \end{Bmatrix}$ diperoleh:

$$\mathbf{K}_R = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_m & \mathbf{T}_t^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{mm} & \mathbf{K}_{ms} \\ \mathbf{K}_{ms}^T & \mathbf{K}_{ss} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{I}_m \\ \mathbf{T}_t \end{Bmatrix}$$

$$\mathbf{K}_R = \mathbf{K}_{mm} + \mathbf{K}_{ms} \mathbf{T}_t + \mathbf{T}_t^T (\mathbf{K}_{ms}^T + \mathbf{K}_{ss} \mathbf{T}_t) \quad (22a)$$

Selanjutnya dengan mensubstitusikan persamaan (19) dan dengan mengingat persamaan (20) dan (14) diperoleh:

$$\mathbf{K}_R = \mathbf{K}_G + \mathbf{t}_d^T \mathbf{K}_{ss} \mathbf{t}_d \quad (22b)$$

dengan

$$\mathbf{K}_G = \mathbf{K}_{mm} + \mathbf{K}_{ms} \mathbf{t}_G \quad (23)$$

Dengan cara yang sama matriks massa tereduksi dapat ditulis menjadi:

$$\mathbf{M}_R = \mathbf{T}^T \mathbf{M} \mathbf{T} \quad (24)$$

dengan $\mathbf{T} = \begin{Bmatrix} \mathbf{I}_m \\ \mathbf{T}_t \end{Bmatrix}$

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_R &= \begin{bmatrix} \mathbf{I}_m & \mathbf{T}_t^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{M}_{mm} & \mathbf{M}_{ms} \\ \mathbf{M}_{ms}^T & \mathbf{M}_{ss} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{I}_m \\ \mathbf{T}_t \end{Bmatrix} \\ \mathbf{M}_R &= \mathbf{M}_{mm} + \mathbf{M}_{ms} \mathbf{T}_t + \mathbf{T}_t^T (\mathbf{M}_{ms}^T + \mathbf{M}_{ss} \mathbf{T}_t) \end{aligned} \quad (25)$$

Dengan mengingat persamaan (19) matriks massa tereduksi menjadi:

$$\mathbf{M}_R = \mathbf{M}_G + \mathbf{t}_d^T (\mathbf{M}_{ms}^T + \mathbf{M}_{ss} \mathbf{T}_t) + (\mathbf{M}_{ms} + \mathbf{t}_G^T \mathbf{M}_{ss}) \mathbf{t}_d \quad (26)$$

dengan

$$\mathbf{M}_G = \mathbf{M}_{mm} + \mathbf{M}_{ms} \mathbf{t}_G + \mathbf{t}_G^T (\mathbf{M}_{ms}^T + \mathbf{M}_{ss} \mathbf{t}_G) \quad (27)$$

Selanjutnya dengan mensubstitusikan persamaan (22) dan persamaan (26) ke persamaan (15) dan dengan mengingat persamaan (23), (27), (19) diperoleh:

$$\mathbf{M}_d \ddot{\mathbf{U}}_m + \mathbf{K}_G \mathbf{U}_m = \mathbf{0} \quad (28)$$

dengan

$$\mathbf{M}_d = \mathbf{M}_G + (\mathbf{M}_{ms} + \mathbf{t}_G^T \mathbf{M}_{ss}) \mathbf{t}_d \quad (29)$$

dan dengan mensubstitusikan persamaan (27) pada persamaan (29) selanjutnya diperoleh:

$$\mathbf{M}_d = \mathbf{M}_{mm} + \mathbf{M}_{ms} \mathbf{T}_t + \mathbf{t}_G^T (\mathbf{M}_{ms}^T + \mathbf{M}_{ss} \mathbf{T}_t) \quad (30)$$

Persamaan (28) merupakan modifikasi dari persamaan (15) dan digunakan untuk mendapatkan *eigenvalue* dari sistem tereduksi. Walaupun demikian persamaan ini merupakan persamaan yang masih terkait dengan matriks transformasi \mathbf{T}_t sehingga penyelesaian dilakukan dengan cara iterasi.

Percepatan pada derajat kebebasan utama, selain dapat diperoleh dari persamaan (16) dapat diperoleh juga dari persamaan (28) yaitu:

$$\ddot{\mathbf{U}}_m = -\mathbf{M}_d^{-1} \mathbf{K}_G \mathbf{U}_m \quad (31)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (31) ke persamaan (13) $\mathbf{T}_t \mathbf{U}_m = -\mathbf{K}_{ss}^{-1} (\mathbf{M}_{ms}^T + \mathbf{M}_{ss} \mathbf{T}_t) \ddot{\mathbf{U}}_m + \mathbf{t}_G \mathbf{U}_m$, menghasilkan:

$$\mathbf{T}_t \mathbf{U}_m = \mathbf{K}_{ss}^{-1} (\mathbf{M}_{ms}^T + \mathbf{M}_{ss} \mathbf{T}_t) \mathbf{M}_d^{-1} \mathbf{K}_G \mathbf{U}_m + \mathbf{t}_G \mathbf{U}_m$$

sehingga matriks transformasi menjadi:

$$\mathbf{T}_t = \mathbf{K}_{ss}^{-1} (\mathbf{M}_{ms}^T + \mathbf{M}_{ss} \mathbf{T}_t) \mathbf{M}_d^{-1} \mathbf{K}_G + \mathbf{t}_G \quad (32)$$

Matriks transformasi \mathbf{T}_t digunakan untuk mendapatkan \mathbf{M}_d pada persamaan (28) dan dengan memperhatikan persamaan (30). Tampak bahwa persamaan masih saling terkait (*coupled*), sehingga salah satu cara untuk menyelesaikan adalah dengan cara iterasi.

Mengikuti Weng dkk. (2017), langkah penyelesaian dilakukan sebagai berikut ini.

(1) Iterasi awal dimulai melalui melalui metode Guyan:

$$\mathbf{T}_t^{[0]} = \mathbf{t}_G = -\mathbf{K}_{ss}^{-1} \mathbf{K}_{ms}^T$$

$$\mathbf{M}_d^{[0]} = \mathbf{M}_G = \mathbf{M}_{mm} + \mathbf{M}_{ms} \mathbf{t}_G + \mathbf{t}_G^T (\mathbf{M}_{ms}^T + \mathbf{M}_{ss} \mathbf{t}_G)$$

$$\mathbf{K}_G = \mathbf{K}_{mm} + \mathbf{K}_{ms} \mathbf{t}_G$$

(2) Matriks transformasi \mathbf{T}_t diperbarui secara iterative untuk $k = 1, 2, 3, \dots$ sebagai berikut:

$$\mathbf{T}_t^{[k]} = \mathbf{K}_{ss}^{-1} (\mathbf{M}_{ms}^T + \mathbf{M}_{ss} \mathbf{T}_t^{[k-1]}) (\mathbf{M}_d^{[k-1]})^{-1} \mathbf{K}_G + \mathbf{t}_G$$

$$\mathbf{M}_d^{[k]} = \mathbf{M}_{mm} + \mathbf{M}_{ms} \mathbf{T}_t^{[k]} + \mathbf{t}_G^T (\mathbf{M}_{ms}^T + \mathbf{M}_{ss} \mathbf{T}_t^{[k]})$$

- (3) Iterasi diteruskan sampai perbedaan *eigenvalue* $\lambda^{[k]} = \text{eig}\left(\left(\mathbf{M}_d^{[k]}\right)^{-1} \mathbf{K}_G\right)$ dari dua iterasi yang terakhir mempunyai nilai yang lebih kecil dari toleransi yang ditetapkan sebagai berikut:

$$\text{error} = \left[\frac{\lambda^{[k]} - \lambda^{[k-1]}}{\lambda^{[k-1]}} \right] < \text{tol}$$

- (4) Selanjutnya matriks-matriks pada sistem tereduksi diperoleh dengan:

$$\mathbf{M}_R = \mathbf{M}_{mm} + \mathbf{M}_{ms} \mathbf{T}_t + \mathbf{T}_t^T (\mathbf{M}_{ms}^T + \mathbf{M}_{ss} \mathbf{T}_t)$$

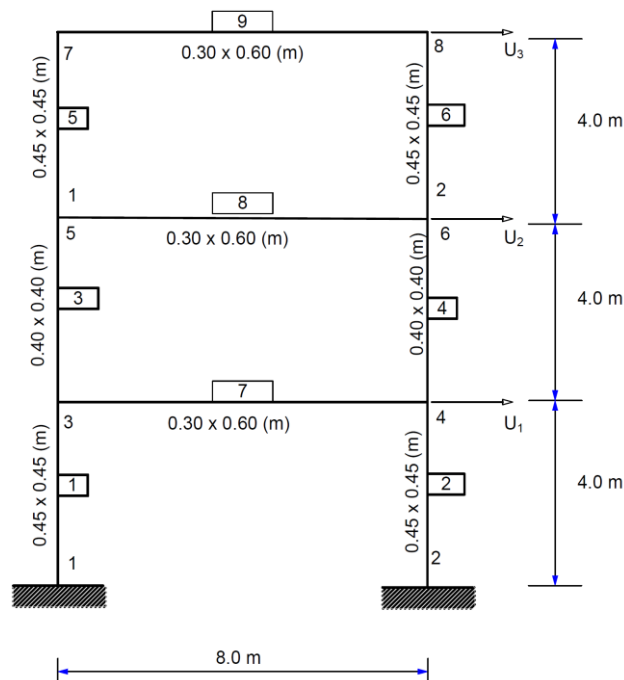
$$\mathbf{K}_R = \mathbf{K}_{mm} + \mathbf{K}_{ms} \mathbf{T}_t + \mathbf{T}_t^T (\mathbf{K}_{ms}^T + \mathbf{K}_{ss} \mathbf{T}_t)$$

$$\mathbf{C}_R = a_1 \mathbf{M}_R + a_2 \mathbf{K}_R$$

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_m + \mathbf{T}_t^T \mathbf{F}_s$$

5. APLIKASI

Sebagai aplikasi dari metode yang dibahas, ditinjau suatu gedung 3 (tiga) lantai seperti terlihat pada Gambar 1. Ukuran kolom = 0,45 x 0,45 (m), ukuran balok = 0,30 x 0,60 (m), dan modulus elastik bahan = $2,35 \times 10^7$ kN/m². Baik deformasi lentur dan deformasi geser diperhitungkan dalam analisis, dengan angka Poisson $\nu = 0,2$ dan faktor bentuk geser $f_s = 1,2$. Lantai-lantai dianggap kaku dalam arah horizontal dengan massa terpusat, $m_1 = m_2 = 10$ t, dan $m_3 = 7,5$ t. Matriks kekakuan dibentuk sesuai dengan metode yang dibahas dalam Arfiadi (2016). Untuk menilai akurasi dari metode ini, model tereduksi dibentuk dengan menganggap derajat kebebasan sebesar 2 dan 1. Matriks kekakuan struktur awal dianggap:



$$E = 2.35 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

Gambar 1. Model struktur yang ditinjau

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} 50563,48 & -26878,88 & 4230,72 \\ -26878,88 & 33725,87 & -13272,22 \\ 4230,72 & -13272,22 & 9669,70 \end{bmatrix}, \mathbf{M} = \begin{bmatrix} 10 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 7,5 \end{bmatrix}$$

Matriks redaman dianggap sebagai fungsi dari kekakuan menurut $\mathbf{C} = a_k \mathbf{K}$ dengan rasio redaman $\xi = 0,05$ sehingga $a_k = 0,01$. Program komputer selanjutnya dapat dibuat untuk mendapatkan matriks tereduksi.

Ditinjau 2 kasus sebagai berikut:

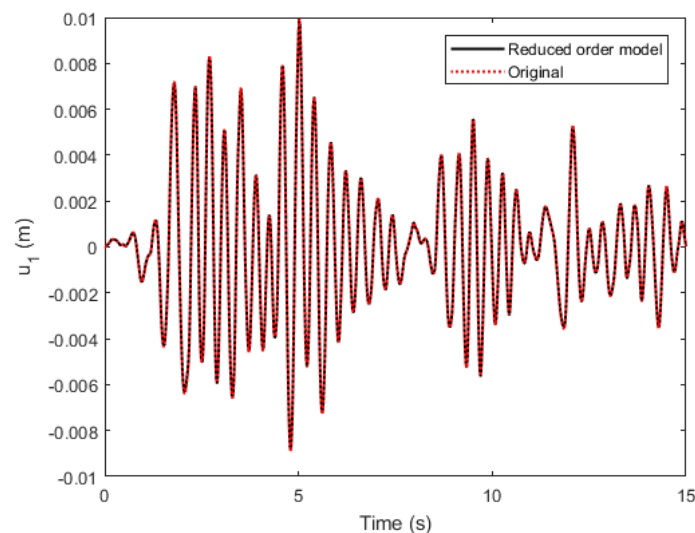
- kasus 1: reduksi menjadi 2 derajat kebebasan,
- kasus 2: reduksi menjadi 1 derajat kebebasan.

Untuk kasus 1, derajat kebebasan yang akan dipertahankan sebagai derajat kebebasan utama (*master degree of freedom*) adalah sebesar 2, yaitu derajat kebebasan nomor 1, dan 2. Matriks transformasi \mathbf{T} diperoleh dari analisis sebagai:

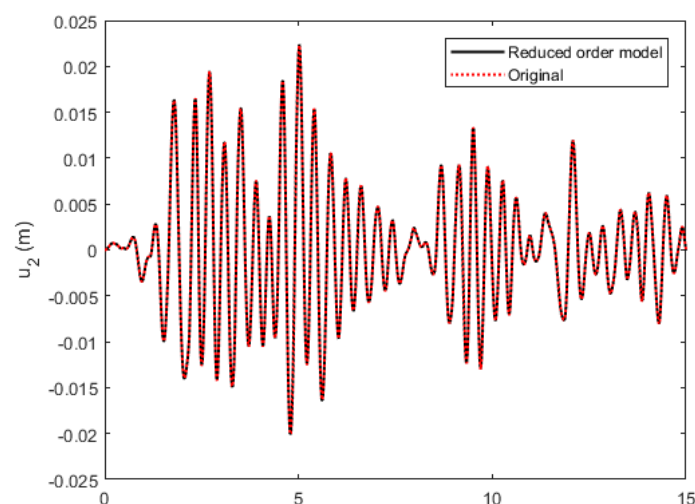
$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_m \\ \mathbf{T}_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ -4,0954 & 3,2377 \end{bmatrix}$$

Selanjutnya matriks transformasi digunakan untuk memprediksi derajat kebebasan nomor 3. Untuk menilai tingkat akurasi dari metode ini, struktur awal dan tereduksi dikenai oleh beban gempa dari rekaman gempa El Centro 1940 dan Kobe 1995. Respons dari kedua model kemudian dibandingkan untuk masing-masing gempa.

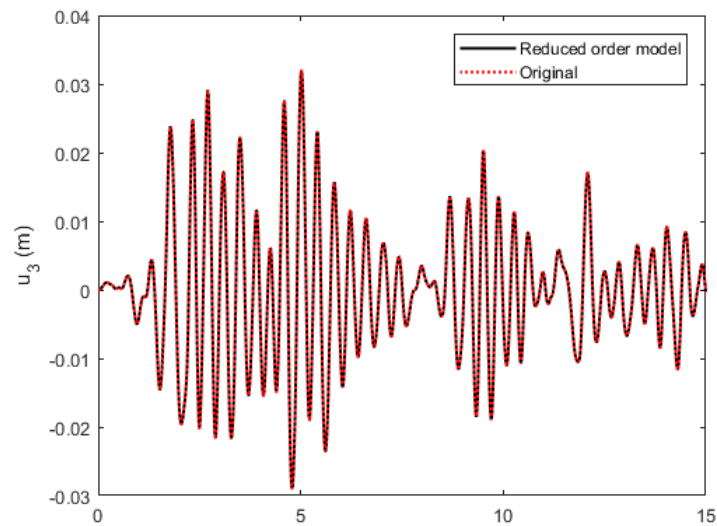
Oleh gempa El Centro hasil analisis disajikan berturut-turut pada Gambar 2, 3, dan 4, serta Tabel 1. Dari hasil analisis oleh gempa El Centro, tampak bahwa hasil dari model tereduksi menyamai hasil analisis yang didasarkan pada model awal.



Gambar 2. Perpindahan lantai 1 kasus 1 oleh gempa El Centro



Gambar 3. Perpindahan lantai 2 kasus 1 oleh gempa El Centro

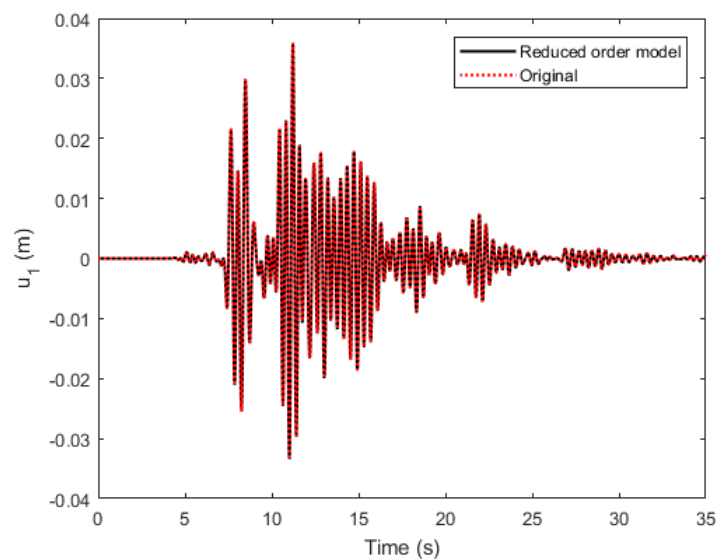


Gambar 4. Perpindahan lantai 3 kasus 1 oleh gempa El Centro

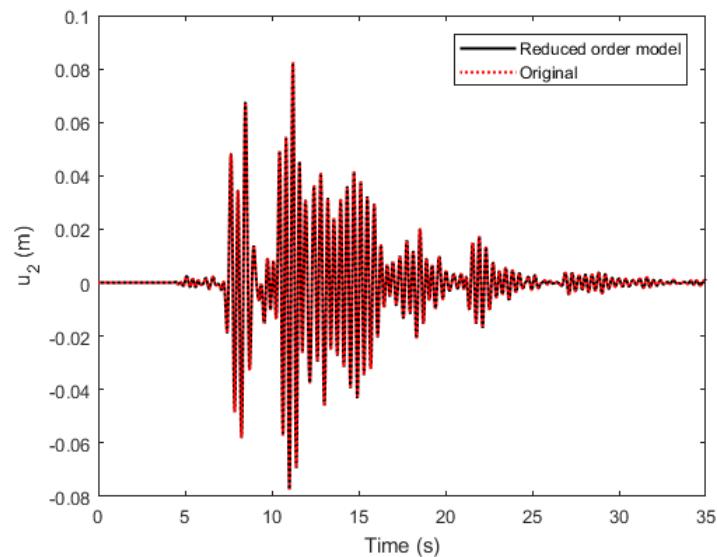
Tabel 1. Respons oleh gempa El Centro 1940

rms	Model Tereduksi	Model awal
U_1 (m)	0,0030	0,0030
U_2 (m)	0,0069	0,0068
U_3 (m)	0,010	0,010

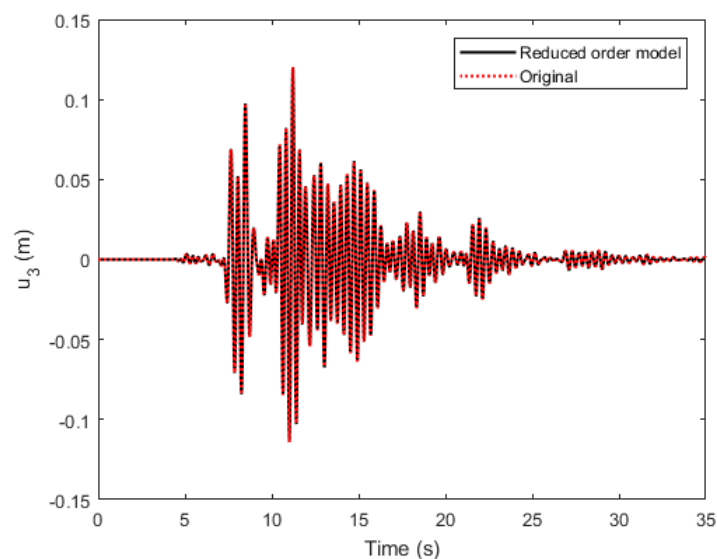
Oleh gempa Kobe hasil analisis disajikan berturut-turut pada Gambar 5, 6, dan 7, serta Tabel 2. Dari hasil analisis oleh gempa Kobe, tampak bahwa hasil dari model tereduksi menyamai hasil analisis yang didasarkan pada model awal.



Gambar 5. Perpindahan lantai 1 kasus 1 oleh gempa Kobe



Gambar 6. Perpindahan lantai 2 kasus 1 oleh gempa Kobe



Gambar 7. Perpindahan lantai 3 kasus 1 oleh gempa Kobe

Tabel 2. Respons oleh gempa Kobe 1995

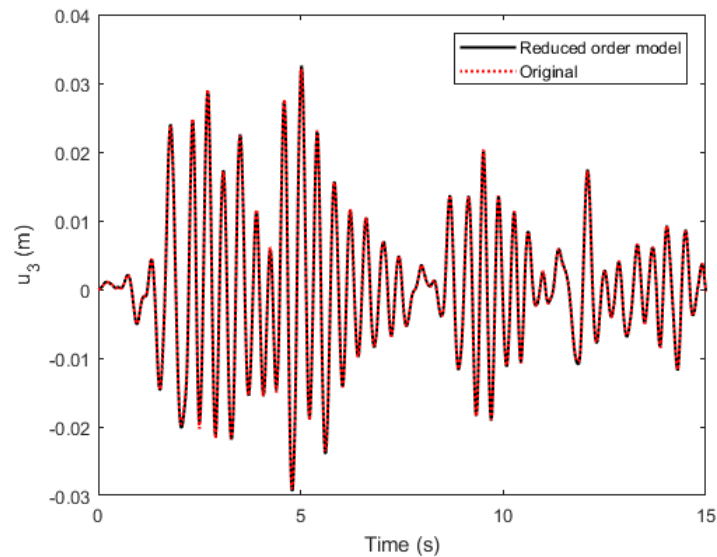
RMS	Model Tereduksi	Model awal
U_1 (m)	0,0064	0,0064
U_2 (m)	0,0149	0,0149
U_3 (m)	0,0219	0,0219

Untuk kasus 2, derajat kebebasan yang dipertahankan sebagai derajat kebebasan utama adalah derajat kebebasan nomor 1. Metode yang sama dilakukan untuk mendapatkan matriks transformasi. Dari analisis, diperoleh matriks transformasi:

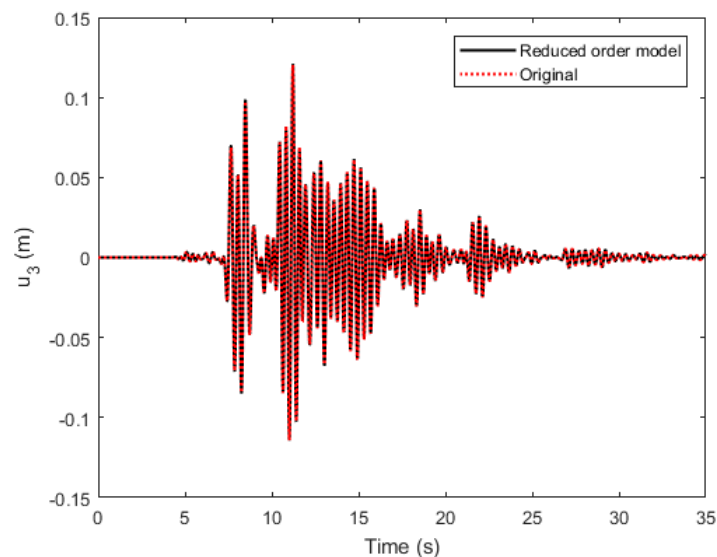
$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2,3274 \\ 3,4399 \end{bmatrix}$$

Selanjutnya model yang sama dikenai oleh rekaman gempa El Centro dan Kobe. Untuk meringkas tempat, hanya disajikan respons pada lantai 3 saja, yaitu pada Gambar 8 dan 9. RMS respons disajikan pada Tabel 3. Dari

simulasi yang dilakukan, tampak bahwa analisis berdasarkan model tereduksi dengan mempertahankan 1 derajat kebebasan dapat menyamai model awal.



Gambar 8. Perpindahan lantai 3 kasus 2 oleh gempa El Centro



Gambar 9. Perpindahan lantai 3 kasus 2 oleh gempa Kobe

Tabel 3. Respons oleh gempa El Centro 1940 dan Kobe 1995

RMS	El Centro		Kobe	
	Model Tereduksi	Model awal	Model Tereduksi	Model awal
U_1 (m)	0,0029	0,0030	0,0064	0,0064
U_2 (m)	0,0068	0,0068	0,0148	0,0149
U_3 (m)	0,0101	0,0100	0,0219	0,0219

6. KESIMPULAN

Model tereduksi dengan analisis dinamik telah dibahas dalam tulisan ini. Model tereduksi dicapai dengan cara iterasi sehingga nilai *eigenvalue* pada model awal dan model tereduksi menjadi identik. Selanjutnya matriks transformasi dan matriks-matriks tereduksi dapat diperoleh. Simulasi terhadap struktur 3 (tiga) lantai dengan 3 (tiga) derajat kebebasan, sebagai model lantai kaku, yang dikenai rekaman gempa El Centro dan Kobe, menunjukkan bahwa metode ini menghasilkan respons dengan akurasi yang tinggi, baik untuk model tereduksi dengan 1 (satu) derajat kebebasan, maupun model tereduksi dengan 2 (dua) derajat kebebasan.

Karena akurasi hasil yang diperoleh, metode ini dapat dikembangkan untuk diaplikasikan pada masalah seperti pemilihan lokasi sensor untuk deteksi kerusakan struktur dan masalah kendali getaran.

PUSTAKA

- Arfiadi, Y., 2016. *Analisis Struktur dengan Program Matlab dan FreeMat*. Cahaya Atma Pustaka, Yogyakarta
- Friswell, M.I., Garvey, S.D., Penny, J.E.T., 1995. Model Reduction using Dynamic and Iterated IRS Technique. *J. of Sound and Vibr.*, 186(2): 311-323.
- Guyan, R.J., 1965. Reduction of Stiffness and Mass Matrices. *AIAA J*, 3(2): 320.
- Paz, M., 1984. Dynamic Condensation", *AIAA Journal*, 22, (5):724-727.
- Qu, ZQ., Shi, Y., Hua, H., 2001. A Reduced-Order Modeling Technique For Tall Buildings with Active Tuned Mass Damper. *Earthq. Engr. and Struct. Dyn.*, 30: 349-362.
- Weng, S., Tian, W., Zhu, H., Xia, Y., Gao, F., Zhang, Y., 2017. Dynamic Condensation Approach to Calculation of Structural Responses and Response Sensitivities. *Mech. Syst. and Signal Proc.*, 88: 302-317.
- Xia Y, Lin R., 2004. A New Iterative Order Reduction (IOR) Method for Eigensolutions of Large Structures. *Int J Numer Method Eng.*, 59:153–72.
- Zhu, T., Tian, W., Weng, S., Ge, H., Xia, Y., Wang, C., 2018. Sensitivity-Based Finite Element Model Updating using Dynamic Condensation Approach. *Int. J. of Struct. Stability and Dyn.*, 18(8): 180004-1 – 180004-23.

PENGARUH LINGKUNGAN KERJA DAN KESEHATAN KESELAMATAN KERJA (K3) TERHADAP PRODUKTIVITAS TENAGA KERJA (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Kolam Regulasi Nipa-Nipa)

Gerald Winardi Tjong¹, Yuada Rumengan², Yudith H Mustakim²

¹ Alumni Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Makassar
Jl. Tanjung Alang 23, Makassar

² Departemen Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Makassar
Jl. Tanjung Alang 23, Makassar

ABSTRAK

Work of construction project have a level of risk and danger. Therefore, all construction projects supposed to have programs K3 to minimize the rate of accidents. If the working environment and occupational health safety (K3) does not support, it will impact to the productivity of manpower. The purpose of this research is to know the applicability and the influence of environmental factors and K3 to manpower productivity.

Results obtained from Pearson correlation analysis showed that the application of Other variables to Productivity variables have the highest positive correlation value of 0.585. In addition, in terms of influence, the highest positive correlation value of 0.754 obtained from the variable Safety that affect Productivity variables. Based on the results of the analysis of multiple linear regression, equation in terms of the application of $Y = 29.06 - 0.227X_1 - 0.264X_2 + 0.218X_3 + 0.402X_4$ and in terms of the influence of $Y = 22\,278 - 0.10X_1 - 0.247X_2 - 0.365X_3 + 0.223X_4$.

Keywords: Manpower, Environment, Health, Safety, Productivity.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Produktivitas tenaga kerja merupakan faktor utama bagi suatu proyek agar mencapai tujuan yang diinginkan. Produktivitas tenaga kerja ditentukan melalui keterampilan/skill, pengalaman kerja, dan dedikasi/tanggung jawab. Disamping itu faktor penunjang lainnya yaitu jaminan kesejahteraan, peralatan kerja yang sesuai, dan lingkungan kerja. Meningkatnya produktivitas satu individu akan berdampak baik juga bagi individu-individu lainnya. Dapat dikatakan tenaga kerja yang memiliki produktivitas yang tinggi dapat terlihat dari hasil kerja mereka pada saat bekerja.

Faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas tenaga kerja pada tiap lokasi proyek pada dasarnya berbeda-beda, karena faktor tersebut berasal dari dalam pekerja dan dari luar pekerja seperti Lingkungan Kerja serta Kesehatan Keselamatan Kerja (K3).

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hubungan faktor-faktor Lingkungan dan Kesehatan Keselamatan Kerja terhadap faktor-faktor produktivitas tenaga kerja pada Proyek Pembangunan Kolam Regulasi Nipa-Nipa?
2. Apakah penerapan Lingkungan dan Kesehatan Keselamatan Kerja mempengaruhi produktivitas tenaga kerja pada Proyek Pembangunan Kolam Regulasi Nipa-Nipa?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui hubungan faktor-faktor lingkungan dan kesehatan keselamatan kerja terhadap faktor-faktor produktivitas tenaga kerja pada Proyek Pembangunan Kolam Regulasi Nipa-Nipa.
2. Untuk menganalisis apakah ada pengaruh penerapan faktor-faktor lingkungan dan kesehatan keselamatan kerja terhadap produktivitas tenaga kerja pada Proyek Pembangunan Kolam Regulasi Nipa-Nipa.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan penelitian ini adalah:

1. Bagi organisasi, sebagai sarana pertimbangan untuk meningkatkan produktivitas tenaga kerja.
2. Bagi penulis, untuk mengembangkan ilmu pengetahuan yang penulis selama proses perkuliahan.
3. Sebagai masukan bagi para peneliti yang tertarik untuk membahas mengenai produktivitas.

1.5. Tenaga Kerja

Tenaga kerja merupakan salah satu unsur penting dalam suatu proyek konstruksi karena pengaruhnya cukup besar terhadap biaya dan waktu. Tenaga kerja yaitu semua orang yang terlibat dalam pelaksanaan suatu proyek, baik dari ahli/profesional sampai tenaga kerja pemborong/buruh. Menurut UU No 13 tahun 2003, pasal 1 poin ke-2 mengatakan “Tenaga kerja adalah setiap orang yang mampu melakukan pekerjaan guna menghasilkan barang dan/atau jasa baik untuk memenuhi kebutuhan sendiri maupun untuk masyarakat”. Tenaga kerja yang berada pada proyek bangunan dapat dibagi menjadi tenaga ahli dan pekerja/buruh. Tenaga ahli/*Staff* adalah pegawai yang ditempatkan dalam pekerjaan proyek yang sedang berlangsung, memiliki tingkat pendidikan sarjana dan memiliki pengalaman dibidang masing-masing. Sedangkan menurut UU No 13 tahun 2003, pasal 1 poin ke-3 “Pekerja/buruh adalah setiap orang yang bekerja dengan menerima upah atau imbalan dalam bentuk lain”. Pekerja atau buruh lapangan terdiri dari berbagai macam tukang yang memiliki keahlian tertentu, seperti : tukang kayu, tukang besi, tukang batu, tukang aluminium dan tukang cat. Dalam melaksanakan pekerjaan biasanya mereka dibantu oleh pembantu tukang atau pekerja (buruh terlatih, buruh semi terlatih, dan buruh tak terlatih).

1.6. Produktivitas

Pada dasarnya produktivitas mencakup sikap mental positif yang memandang hari depan secara optimis dengan berakar pada keyakinan diri bahwa kehidupan hari ini adalah lebih baik dari hari kemarin dan hari esok adalah lebih baik dari hari ini (Sinungan, 2014:1).

Kerja produktif memerlukan keterampilan kerja yang sesuai dengan isi kerja sehingga bisa menimbulkan penemuan-penemuan baru untuk memperbaiki cara kerja atau minimal mempertahankan cara kerja yang sudah baik. Kerja produktif memerlukan prasyarat sebagai faktor pendukung yaitu: kemauan kerja yang tinggi, kemampuan kerja yang sesuai dengan isi kerja, lingkungan kerja yang nyaman, penghasilan yang dapat memenuhi kebutuhan hidup minimum, jaminan sosial yang memadai, kondisi kerja yang manusiawi dan hubungan kerja yang harmonis (Sinungan, 2014:3).

1.7. Lingkungan Kerja

Suatu kondisi lingkungan kerja dikatakan baik apabila tenaga kerja dapat melaksanakan pekerjaannya secara optimal, sehat, aman, dan nyaman. Oleh karena itu penentuan dan penciptaan lingkungan kerja yang baik akan sangat menentukan keberhasilan dalam pencapaian tujuan organisasi. Lingkungan kerja adalah keseluruhan alat perkakas dan bahan yang dihadapi, lingkungan sekitarnya di mana seseorang bekerja, metode kerjanya, serta pengaturan kerjanya baik sebagai perseorangan maupun sebagai kelompok (Sedarmayanti 2009:2). Sedarmayanti (2009:75) mengatakan bahwa lingkungan dan iklim kerja yang baik akan mendorong tenaga kerja agar senang bekerja dan meningkatkan rasa tanggung jawab untuk melakukan pekerjaan dengan lebih baik menuju ke arah peningkatan produktivitas.

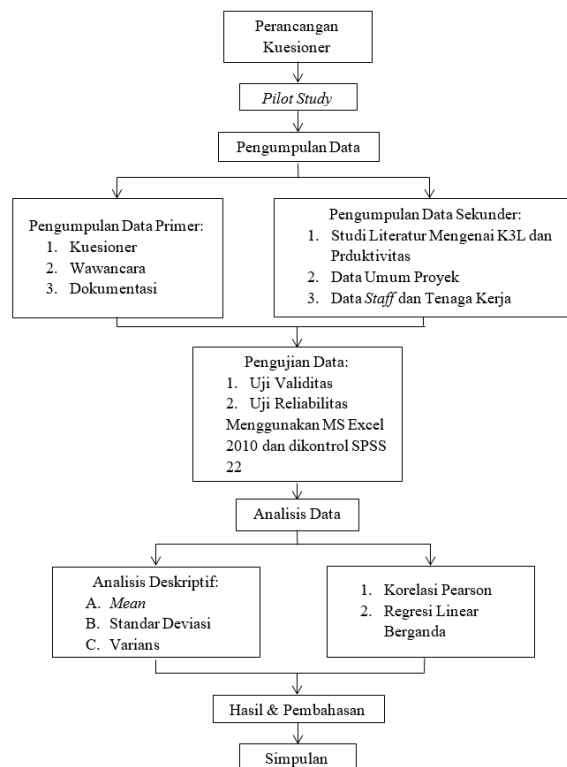
1.8. Kesehatan Keselamatan Kerja (K3)

Kesehatan dan keselamatan kerja (K3) adalah antisipasi pengenalan evaluasi dan pendendalian bahaya yang timbul di tempat kerja yang dapat mengganggu kesehatan dan kesejahteraan pekerja dengan mempertimbangkan dampak terhadap masyarakat sekitar dan lingkungan umum (Alli, 2008:vii). Tujuan K3 adalah untuk memelihara kesehatan dan keselamatan lingkungan kerja. K3 juga melindungi rekan kerja, keluarga pekerja, konsumen, dan orang lain yang juga mungkin terpengaruh kondisi lingkungan kerja. Pelaksanaan K3 dalam pekerjaan konstruksi dapat dilakukan dengan berbagai macam cara. Perlindungan keselamatan diawali dengan penggunaan alat pelindung diri (APD) dan sarana kesehatan kerja yang baik. Perilaku kerja yang baik dan penggunaan alat yang benar. Keempat cara ini, semua sama pentingnya. Alat pelindung diri adalah benda dan alat pengaman yang harus digunakan pada saat bekerja supaya semua bagian badan terlindung dari bahaya pada saat bekerja. Berbagai macam alat pelindung diri sebagai berikut: (1) Helm Pelindung, (2) Pelindung Mata, (3) Pelindung Telinga, (4) Masker Pernafasan, (5) Rompi, (6) Sabuk Pengaman, (7) Sarung Tangan, (8) *Safety shoes*. Sarana K3 merupakan fasilitas yang harus tersedia di lokasi proyek konstruksi untuk menjamin kesehatan dan keselamatan pekerja. Adapun sarana tersebut adalah sebagai berikut: (1) Tersedia sarana cuci tangan, (2) Tersedia barak kerja, (3) Tersedia toilet, (4) Tersedia fasilitas Alat Pemadam Api Ringan, (5) Tersedia kotak P3K, (6) Akses pintu evakuasi tanpa halangan *Evacuation Sign*, (7) Rambu-rambu K3.

1.9. Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis deskriptif dan analisis faktor yang diujikan terhadap 13 faktor lingkungan, 16 faktor kesehatan, 23 faktor keselamatan, 27 faktor lain, dan 15 faktor produktivitas. Data yang diperoleh berupa kuesioner dari 77 responden (33 *staff* dan 44 tukang/buruh) dengan skala pengukuran menggunakan skala Likert untuk mengukur tingkat penerapan dan pengaruh produktivitas. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh tenaga kerja yang berada pada Proyek Pembangunan Kolam Regulasi Nipa-Nipa. Penentuan sampel dilakukan dengan teknik sampel *Sampling Total* yaitu teknik penentuan sampel bila semua anggota populasi dijadikan sampel. Pengujian data dilakukan dengan pengujian uji validitas dan uji reabilitas

menggunakan MS. Excel 2010 dan dikontrol dengan SPSS 22. Setelah itu analisis data menggunakan analisis deskriptif, korelasi *Pearson Product Moment*, dan analisis regresi linear berganda.



Gambar 1. Prosedur penelitian

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

2.1. Hasil Uji Validitas dan Reliabilitas Kuesioner

Uji validitas dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pernyataan-pernyataan yang diajukan dapat mewakili objek yang diamati. Uji validitas dilakukan dengan bantuan Microsoft Excel 2010 dikontrol dengan program SPSS 22 dan hasilnya akan dibandingkan dengan nilai angka kritik tabel kolerasi nilai r dari nilai-nilai r *Product Moment*. Sebagai peneliti langsung, kuesioner disebarkan kepada 33 orang *Staff* dan 44 *Tukang/Buruh*, total 77 orang responden. Setiap butir pernyataan akan dikatakan valid jika seluruh pertanyaan tersebut (r hitung) lebih besar dari r tabel (r hitung $>$ r tabel). Uji reabilitas dilakukan untuk mengetahui konsistensi atau keteraturan hasil pengukuran suatu instrumen apabila instrumen tersebut digunakan lagi sebagai alat ukur suatu objek atau responden. Uji reabilitas dilakukan dengan bantuan Microsoft Excel 2010 dikontrol dengan program SPSS 22. Dikatakan reliabel jika nilai dari *Alpha Cronbach* lebih besar dari 0,6 ($>$ 0,6).

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Uji Validitas dan Reliabilitas

			Staff (33)	Tukang/Buruh (44)	Staff dan Tukang/Buruh (77)
Faktor Lingkungan	Penerapan	Validitas	13 dari 13	8 dari 13	10 dari 13
		Reabilitas	0.780342	0.717823	0.726243
	Pengaruh	Validitas	11 dari 13	13 dari 13	13 dari 13
		Reabilitas	0.785737	0.775095	0.761426
Faktor Kesehatan	Penerapan	Validitas	13 dari 16	14 dari 16	16 dari 16
		Reabilitas	0.718596	0.666712	0.642475
	Pengaruh	Validitas	12 dari 16	16 dari 16	16 dari 16
		Reabilitas	0.707483	0.866396	0.823425

Faktor Keselamatan	Penerapan	Validitas	20 dari 23	22 dari 23	22 dari 23
		Reabilitas	1.030466	1.021735	1.011894
	Pengaruh	Validitas	22 dari 23	22 dari 23	22 dari 23
		Reabilitas	1.030321	1.020079	1.010857
Faktor Lain	Penerapan	Validitas	25 dari 27	22 dari 27	26 dari 27
		Reabilitas	0.911707	0.847417	0.837649
	Pengaruh	Validitas	23 dari 27	23 dari 27	27 dari 27
		Reabilitas	0.846693	0.916027	0.894339
Faktor Produktivitas	Penerapan	Validitas	15 dari 15	15 dari 15	15 dari 15
		Reabilitas	0.909057	0.902603	0.891877
	Pengaruh	Validitas	15 dari 15	15 dari 15	15 dari 15
		Reabilitas	0.881736	0.914186	0.89637

2.2. Analisis Korelasi Pearson Product Moment

Dalam penelitian ini menggunakan teknik korelasi *Pearson Product Moment* untuk mencari hubungan dan membuktikan hipotesis dua variabel atau lebih tersebut sama. Berikut ini adalah hasil pengolahan kuesioner dengan bantuan program SPSS 22 dengan analisis *Pearson* terhadap lima variabel yang diuji hubungannya yang telah direkapkan:

Tabel 2. Rekapitulasi Korelasi Pearson (VA, VB, VC, dan VD Terhadap VE) (Penerapan)

Penerapan		Hubungan							
		VA; VE	Ket.	VB; VE	Ket.	VC; VE	Ket.	VD; VE	Ket.
Staff 33 Responden	r hitung	0.58 9	Ha diterima	0.59 2	Ha diterima	0.54 5	Ha diterima	0.79 2	Ha diterima
	r tabel	0.34 4		0.34 4		0.34 4		0.34 4	
	t hitung	4.05 80	Signifi kan	4.08 97	Signifi kan	3.61 91	Signifi kan	7.22 22	Signifi kan
	t tabel	2.04 0		2.04 0		2.04 0		2.04 0	
Tukang /Buruh 44 Responden	r hitung	- 0.045	Ho diterima	0.16 3	Ho diterima	0.57 1	Ha diterima	0.58 5	Ha diterima
	r tabel	0.29 7		0.29 7		0.29 7		0.29 7	
	t hitung	- 0.2508	Tidak Signifikan	0.91 98	Tidak Signifikan	3.87 25	Signifi kan	4.01 6	Signifi kan
	t tabel	2.01 8		2.01 8		2.01 8		2.01 8	
Staff dan Tukang/Bu ruh 77 Responden	r hitung	0.05	Ho diterima	0.26 1	Ha diterima	0.55 9	Ha diterima	0.58 5	Ha diterima
	r tabel	0.22 1		0.22 1		0.22 1		0.22 1	
	t hitung	0.27 87	Tidak Signifikan	1.50 53	Tidak Signifikan	3.75 36	Signifi kan	4.01 6	Signifi kan
	t tabel	1.99 2		1.99 2		1.99 2		1.99 2	

Berdasarkan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa menurut *Staff* dengan jumlah 33 responden, semua variabel memiliki korelasi antara Lingkungan (VA), Kesehatan (VB), Keselamatan (VC), serta varaibel Lain (VD) terhadap variabel Produktivitas (VE). Hal ini disebabkan karena nilai r hitung semua variabel lebih besar dari nilai r tabel (> 0.344) dan memiliki nilai t hitung lebih besar dari nilai t tabel (> 2.040). Menurut Tukang/Buruh dengan jumlah

44 responden, variabel yang memiliki korelasi dengan Produktivitas (VE) ialah variabel Keselamatan (VC), serta variabel Lain (VD). Hal ini disebabkan karena nilai r hitung VC dan VD lebih besar dari nilai r tabel (> 0.297) dan memiliki nilai t hitung lebih besar dari nilai t tabel (> 2.018). Jika *Staff* dan Tukang/Buruh digabungkan menjadi 77 responden, variabel yang memiliki korelasi dengan Produktivitas (VE) ialah variabel Keselamatan (VC) dan variabel Lain (VD). Hal ini disebabkan karena nilai r hitung VC dan VD lebih besar dari nilai r tabel (> 0.221) dan memiliki nilai t hitung lebih besar dari nilai t tabel (> 1.992). Apabila melihat nilai r hitung variabel Kesehatan (VB) terdapat korelasi dengan variabel Produktivitas (VE) karena nilai r hitungnya lebih besar dari nilai r tabel (> 0.221) akan tetapi karena nilai t hitung lebih kecil dari nilai t tabel (< 1.992), dapat disimpulkan bahwa tidak ada signifikansi antara VB dan VE.

Tabel 3. Rekapitulasi Korelasi Pearson (VA, VB, VC, dan VD Terhadap VE) (Pengaruh)

Pengaruh		Hubungan							
		V A;VE	Ket .	VB; VE	Ket.	VC; VE	Ket.	VD; VE	Ket.
Staff 33 Responden	r hitung	0.2 41	Ho diterima	0.40 2	Ha diterima	0.52 9	Ha diterima	0.59 1	Ha diterima
	r tabel	0.3 44		0.34 4		0.34 4		0.34 4	
	t hitung	1.3 825	Tid ak Signifik an	2.44 44	Signifi kan	3.47 07	Signifi kan	4.07 91	Signifi kan
	t tabel	2.0 40		2.04 0		2.04 0		2.04 0	
Tukang/B uruh 44 Responden	r hitung	0.3 21	Ha diterima	0.55 9	Ha diterima	0.78 8	Ha diterima	0.76 2	Ha diterima
	r tabel	0.2 97		0.29 7		0.29 7		0.29 7	
	t hitung	1.8 871	Tid ak Signifik an	3.75 36	Signifi kan	7.12 61	Signifi kan	6.55 15	Signifi kan
	t tabel	2.0 18		2.01 8		2.01 8		2.01 8	
Staff dan Tukang/Buru h 77 Responden	r hitung	0.2 91	Ha diterima	0.53 2	Ha diterima	0.75 4	Ha diterima	0.72 2	Ha diterima
	r tabel	0.2 21		0.22 1		0.22 1		0.22 1	
	t hitung	1.6 935	Tid ak Signifik an	3.49 81	Signifi kan	6.39 1	Signifi kan	5.81	Signifi kan
	t tabel	1.9 92		1.99 2		1.99 2		1.99 2	

Berdasarkan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa menurut *Staff* dengan jumlah 33 responden, variabel yang memiliki korelasi dengan variabel Produktivitas (VE) adalah Kesehatan (VB), Keselamatan (VC), serta variabel Lain (VD). Hal ini disebabkan karena nilai r hitung VB, VC dan VD lebih besar dari nilai r tabel (> 0.344) dan memiliki nilai t hitung lebih besar dari nilai t tabel (> 2.040). Menurut Tukang/Buruh dengan jumlah 44 responden, variabel yang memiliki korelasi dengan Produktivitas (VE) ialah variabel Kesehatan (VB), Keselamatan (VC) dan variabel Lain (VD). Hal ini disebabkan karena nilai r hitung VB, VC dan VD lebih besar dari nilai r tabel (> 0.297) dan memiliki nilai t hitung lebih besar dari nilai t tabel (> 2.018). Apabila melihat nilai r hitung variabel Lingkungan (VA) terdapat korelasi dengan variabel Produktivitas (VE) karena nilai r hitungnya lebih besar dari nilai r tabel (> 0.297) akan tetapi karena nilai t hitung lebih kecil dari nilai t tabel (< 2.018), dapat disimpulkan bahwa tidak ada signifikansi antara VA dan VE. Jika *Staff* dan Tukang/Buruh digabungkan menjadi 77 responden, variabel yang memiliki korelasi dengan Produktivitas (VE) ialah variabel Kesehatan (VB), Keselamatan (VC) dan variabel Lain (VD). Hal ini disebabkan karena nilai r hitung VB, VC dan VD lebih besar dari nilai r tabel (> 0.221) dan memiliki nilai t hitung lebih besar dari nilai t tabel (> 1.992). Apabila melihat nilai r hitung variabel Lingkungan (VA) terdapat korelasi dengan variabel Produktivitas (VE) karena nilai r hitungnya lebih besar dari nilai r tabel (> 0.221) akan tetapi karena nilai t hitung lebih kecil dari nilai t tabel (< 1.992), dapat disimpulkan bahwa tidak ada signifikansi antara VA dan VE.

2.3. Analisis Regresi Linear Berganda

Berdasarkan hasil penelitian dengan bantuan program SPSS 22 diperoleh formulasi model hubungan antara faktor produktivitas (Y) dengan faktor lingkungan (X_1), faktor kesehatan (X_2), faktor keselamatan (X_3), faktor lain (X_4) ditunjukkan dengan model persamaan sebagai berikut:

1. Pemodelan yang menunjukkan hubungan antara variabel Y dengan X_1, X_2, X_3, X_4 dari segi penerapan

Tabel 4. Hasil Analisis Regresi Linear Berganda (Penerapan)								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	29,060	9,329		3,115	,003		
	Total.Va	-,227	,119	-,191	-1,915	,059	,761	1,313
	Total.VB	-,264	,150	-,206	-1,754	,084	,549	1,821
	Total.VC	,218	,105	,259	2,082	,041	,492	2,035
	Total.VD	,402	,094	,620	4,271	,000	,360	2,776
a. Dependent Variable: Total.VE								

Persamaan regresi yang didapatkan adalah sebagai berikut:

$$Y = 29.06 - 0.227X_1 - 0.264X_2 + 0.218X_3 + 0.402X_4$$

Tabel 5. Hasil Analisis Kolerasi Ganda (Penerapan)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,673 ^a	,453	,422	6,432

a. Predictors: (Constant), Total.VD, Total.Va, Total.VB, Total.VC

Berdasarkan tabel di atas diperoleh nilai R sebesar 0,673. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang kuat antara faktor lingkungan, kesehatan, keselamatan, serta faktor lain terhadap produktivitas.

Tabel 6. Hasil Uji F (Penerapan)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2465,339	4	616,335	14,896	,000 ^b
	Residual	2978,973	72	41,375		
	Total	5444,312	76			

a. Dependent Variable: Total.VE

b. Predictors: (Constant), Total.VD, Total.Va, Total.VB, Total.VC

Berdasarkan tabel diperoleh F hitung sebesar 14.896. Dengan menggunakan tingkat signifikan $\alpha = 5\%$, $df_1 (5 - 1) = 4$, dan $df_2 (77 - 5) = 72$. hasil diperoleh untuk F tabel sebesar 2.5.

Karena F hitung > F tabel ($14.896 > 2.5$), maka H_0 ditolak, artinya ada pengaruh secara signifikan antara faktor lingkungan, faktor kesehatan, faktor keselamatan, faktor lain secara bersama-sama terhadap faktor produktivitas.

2. Pemodelan yang menunjukkan hubungan antara variabel Y dengan X_1, X_2, X_3, X_4 dari segi pengaruh.

Tabel 7. Hasil Analisis Regresi Linear Berganda (Pengaruh)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	22,278	5,164		4,314	,000		

Total.Va	-,010	,111	-,008	-,087	,931	,628	1,593
Total.VB	-,247	,125	-,273	- 1,979	,052	,275	3,636
Total.VC	,365	,084	,632	4,327	,000	,246	4,064
Total.VD	,223	,077	,407	2,899	,005	,266	3,766

a. Dependent Variable: Total.VE

Persamaan regresi yang didapatkan adalah sebagai berikut:

$$Y = 22.278 - 0.10X_1 - 0.247X_2 + 0.365X_3 + 0.223X_4$$

Tabel 8. Hasil Analisis Kolerasi Ganda (Pengaruh)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,789 ^a	,623	,602	6,030

a. Predictors: (Constant), Total.VD, Total.Va, Total.VB, Total.VC

Berdasarkan tabel di atas diperoleh nilai R sebesar 0,789. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang kuat antara faktor lingkungan, kesehatan, keselamatan, serta faktor lain terhadap produktivitas.

Tabel 9. Hasil Uji F (Pengaruh)

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	4318,862	4	1079,716	29,695	,000 ^b
Residual	2617,943	72	36,360		
Total	6936,805	76			

a. Dependent Variable: Total.VE

b. Predictors: (Constant), Total.VD, Total.Va, Total.VB, Total.VC

Berdasarkan tabel diperoleh F hitung sebesar 14.896. Dengan menggunakan tingkat signifikan $\alpha = 5\%$, $df_1 (5 - 1) = 4$, dan $df_2 (77 - 5) = 72$. hasil diperoleh untuk F tabel sebesar 2.5. Karena F hitung $>$ F tabel ($29.695 > 2.5$), maka H_0 ditolak, artinya ada pengaruh secara signifikan antara faktor lingkungan , faktor kesehatan , faktor keselamatan, faktor lain secara bersama-sama terhadap faktor produktivitas.

3. KESIMPULAN

Hasil simpulan dari penelitian ini adalah:

1. Penerapan variabel Lingkungan (VA) terhadap variabel Produktivitas (VE) menunjukkan nilai terendah tetapi memiliki nilai korelasi positif yaitu sebesar 0,005. Hasil tersebut menurut *Staff* dan Tukang/Buruh perusahaan telah Menjaga Keamanan Proyek dengan baik sehingga membuat *Staff* dan Tukang/Buruh merasa Bertanggung Jawab pada saat bekerja. Selain itu nilai kolerasi positif yang tertinggi yaitu sebesar 0,585 berada pada penerapan variabel Lain (VD) terhadap variabel Produktivitas (VE). Menurut *Staff* dan Tukang/Buruh perusahaan telah menyediakan Barak Peristirahatan sehingga membuat *Staff* dan Tukang/Buruh merasa Bertanggung Jawab pada saat bekerja.
2. Pengaruh variabel Lingkungan (VA) terhadap variabel Produktivitas (VE) menunjukkan nilai terendah tetapi memiliki nilai korelasi positif yaitu sebesar 0,291. Hasil tersebut menurut *Staff* dan Tukang/Buruh perusahaan telah Menjaga Keamanan Proyek dengan baik sehingga membuat *Staff* dan Tukang/Buruh Selalu Berusaha untuk Melakukan Pekerjaan dengan Rapi. Selain itu nilai kolerasi positif yang tertinggi yaitu sebesar 0,754 berada pada pengaruh variabel Keselamatan (VC) terhadap variabel Produktivitas (VE). Menurut *Staff* dan Tukang/Buruh perusahaan telah memberikan Pelatihan Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) sehingga membuat *Staff* dan Tukang/Buruh Selalu Berusaha untuk Melakukan Pekerjaan dengan Rapi.
3. Berdasarkan hasil analisis regresi linear berganda didapatkan bentuk persamaan pemodelan sebagai berikut:
 - a. Dari segi penerapan: $Y = 29.06 - 0.227X_1 - 0.264X_2 + 0.218X_3 + 0.402X_4$
 - b. Dari segi pengaruh: $Y = 22.278 - 0.10X_1 - 0.247X_2 + 0.365X_3 + 0.223 X_4$

Variabel lingkungan, kesehatan, keselamatan serta variabel lain berpengaruh secara signifikan dan positif terhadap variabel produktivitas Tukang/Buruh. Hal ini terbukti dengan hasil perhitungan SPSS yang menyatakan dari nilai F hitung lebih besar dari F tabel, maka H_0 ditolak dan disimpulkan bahwa penerapan lingkungan serta kesehatan keselamatan kerja berpengaruh terhadap produktivitas Tukang/Buruh Proyek Pembangunan Kolam Regulasi Nipa-Nipa.

PUSTAKA

- Alli, B. O. 2008. *Fundamental Principles Of Occupational Health And Safety* (2nd Ed.). Geneva:International Labour Office.
- Sedarmayanti. 2009. *Sumber Daya Manusia dan Produktivitas Kerja*. Bandung: PT. Mandar Maju.
- Sinungan, M. 2014. *Produktivitas Apa Dan Bagaimana*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2003 Tentang Ketenagakerjaan. (luk.staff.ugm.ac.id/atur/UU13-2003Ketenagakerjaan.pdf, diakses 10 April 2017).

PROGRAM SIMULASI WUFI-2D UNTUK PENGGAMBARAN TRANSPORT PANAS PADA BANGUNAN GEDUNG

Studi Kasus Gedung Thomas Aquinas Unika Soegijapranata Semarang

L.M.F. Purwanto

Program Studi Arsitektur, Fakultas Arsitektur dan Desain, Universitas Katolik Soegijapranata Semarang

Jalan Pawiyatan Luhur IV/1, Bendan Duwur, Semarang

Telp. (024) 8441555

E-mail: lmf_purwanto@unika.ac.id

ABSTRAKS

Pada perhitungan fisika bangunan, terkait dengan kenyamanan termal di dalam bangunan, perlu memperhitungkan pengaruh temperatur udara dan transfer panas melalui dinding dan kaca bangunan. Masuknya panas ke dalam bangunan melalui dinding dan kaca mengakibatkan peningkatan temperatur ruang. Pengendalian temperatur di dalam bangunan sangat penting untuk penghematan energi yang digunakan untuk pengkondisian udara. Penggunaan Program simulasi WUFI-2D membantu dalam perhitungan fisika bangunan untuk mengetahui perpindahan panas dan pengaruhnya dalam bangunan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh panas dari luar bangunan yang masuk ke dalam ruangan. Metode Penelitian dilakukan dengan menghitung dan menjabarkan hasil perhitungan WUFI-2D, sehingga didapat gambaran pengaruh dan langkah pengantisipasi termal di dalam ruangan.

Kata Kunci: WUFI-2D, Transport Panas, Gedung bertingkat

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan penggunaan program simulasi komputer pada penelitian arsitektur semakin banyak dilakukan oleh para peneliti arsitektur. Berawal dari penggunaan program CAD untuk menampilkan gambar arsitektural, maka mulai berkembang simulasi untuk mendukung kinerja bangunan dengan diawali dengan adanya program komputer untuk rendering bangunan, kemudian perhitungan struktur dan konstruksi serta dilanjutkan dengan program simulasi perhitungan fisika bangunan. Berkembangnya penelitian dengan alat bantu digital ini memunculkan skema penelitian baru yaitu arsitektur digital.

Salah satu perhitungan transfer panas menggunakan program simulasi WUFI-2D ciptaan Departemen Hygrothermics, Fraunhofer IBP, Jerman. Dalam perhitungan fisika bangunan ini software WUFI-2D yang dirancang untuk menghitung transportasi panas dan uap simultan dalam komponen bangunan satu atau dua dimensi. (Künzel, H.M., 2011)

Pada gedung Thomas Aquinas sebagai gedung Perpustakaan Unika Soegijapranata, memiliki fasade yang terdiri dari kaca dan dinding batu bata. Bangunan ini memiliki 5 lantai. Hampir setiap ruang menggunakan AC dan perlu diperhitungkan dengan cermat panas yang masuk ke dalam bangunan sehingga penggunaan energi listrik untuk AC dapat seefisien mungkin

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian ini adalah untuk melakukan analisis atas gambaran simulasi komputer dalam kurun waktu satu tahun pada perhitungan transfer panas melalui program WUFI-2D. Dengan gambaran ini akan dapat digunakan untuk menentukan langkah pengkondisian udara yang tepat di dalam gedung Thomas Aquinas ini.

1.3 Rumusan Masalah

Dalam perhitungan fisika bangunan, diperlukan satu data primer maupun sekunder untuk menentukan satu kenyamanan termal, baik berupa temperature maupun kelembaban udara. Data tersebut, jika diperoleh dari pengukuran dengan menggunakan alat ukur thermometer maupun hygrometer, sebenarnya masih merupakan data mentah dalam sebuah kajian fisika bangunan. Pengolahan data lebih lanjut masih perlu dilakukan. Terlebih jika data pengukuran hanya didapat dalam kurun waktu yang pendek. Untuk itu perlu dikaji dengan bantuan program simulasi komputer ini. Dari pemikiran tersebut, dapat dirumuskan pertanyaan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil pengukuran temperature dan transfer panas yang mempengaruhi sebuah ruang terkait dengan bentuk dan arah hadap fasade bangunannya?
2. Berapa besar dampak iklim luar terhadap iklim di dalam bangunan?

1.4 Tinjauan Pustaka

A. Kajian Pustaka

Pada pengamatan dengan menggunakan program simulasi komputer sudah mulai banyak dilakukan (Satwiko, P., 2009). Penggunaan simulasi komputer ini sangat membantu dalam penelitian. Software simulasi komputer ini dapat digunakan sebagai virtual lab dalam berbagai penelitian yang sangat menghemat waktu dan biaya (Mercer, L., 1990). Dalam penggunaan virtual lab di dunia Pendidikan, sangat membantu dalam pengembangan penelitian, pertanggung jawaban akurasi penelitian, investigasi keilmuan yang dapat diandalkan (Alexiou, A., et.al., 2001)

Penggunaan software komputer telah banyak dilakukan dalam penelitian Arsitektur. Vergara, D., et.al., 2017 menggunakan software simulasi komputer untuk Desain Virtual Reality untuk pembelajaran terkait dengan lingkungan pada bidang ilmu Teknik. Penggunaan software BLAST, DOE-2, VisualDOE, Energy PLast, CAPAS31, Ecotect, dan TRACE Load 700 digunakan oleh Nimlyat, P. S., et.al., 2014 untuk menganalisa kinerja energi pada beberapa obyek pengamatan bangunan. Sementara Penelitian dengan menggunakan software WUFI-2D dilakukan oleh Purwanto, LMF, 2018 pada bangunan bertingkat di Semarang hanya pada pengaruh heat transfer saja. Penelitian WUFI-2D pada gedung Thomas Aquinas ini dilakukan untuk mengukur kinerja temperature, kelembaban dan transfer panas yang berpengaruh terhadap kondisi thermal di dalam bangunan. Penelitian dengan WUFI-2D di gedung Thomas Aquinas ini belum pernah dilakukan

B. Kajian Teori

Dalam perhitungan WUFI-2D, pendekatan terpenting yang dilakukan adalah pendekatan perpindahan panas/transfer panas dari luar bangunan ke dalam bangunan. Tahanan permukaan ($1/\alpha$) menggunakan patokan umum sebagai berikut:

Untuk bangunan di subtropis, dimana temperatur luar lebih dingin daripada temperatur di dalam bangunan, maka digunakan patokan seperti ini:

Tahanan permukaan luar : $1/\alpha_l = 0,04 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

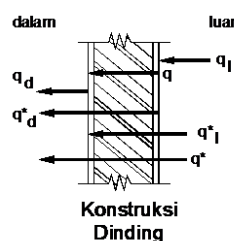
Tahanan permukaan dalam : $1/\alpha_d = 0,13 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

Namun untuk daerah tropis, dimana temperatur dalam bangunan lebih rendah dibanding di luar bangunan, maka digunakan patokan sebagai berikut:

Tahanan permukaan luar : $1/\alpha_l = 0,13 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

Tahanan permukaan dalam : $1/\alpha_d = 0,04 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

Untuk mengetahui temperatur permukaan dan temperatur udara, maka digunakan pendekatan kecepatan kehilangan panas (q) diperlukan untuk menghitung temperatur permukaan atap atau dinding. Dengan pendekatan seperti gambar di bawah ini, menunjukkan bahwa ada pengaruh pada setiap bagian bangunan dan adanya tahapan perhitungan pada setiap transmisi panas. m^3 (Purwanto, 2017)



Gambar 1. Perpindahan panas

$$q_d = q_l = q \quad [\text{W/m}^2]$$

Kecepatan kehilangan panas dari udara di luar bangunan ke dinding permukaan di luar bangunan, dengan pendekatan:

$$q_l = \frac{(g_{ul} - g_{pl})}{1/\alpha_l} \quad [\text{W/m}^2]$$

Kecepatan kehilangan panas dari dinding permukaan di dalam bangunan ke udara di dalam bangunan, dengan pendekatan:

$$q_d = \frac{(g_{pd} - g_{ud})}{1/\alpha_d} \quad [\text{W/m}^2]$$

Kecepatan kehilangan panas dari dinding permukaan di luar bangunan ke dinding permukaan di dalam bangunan, dengan pendekatan:

$$q = \frac{(g_{pl} - g_{pd})}{s/\lambda} \quad [\text{W/m}^2]$$

Kecepatan kehilangan panas dari udara di luar bangunan ke dinding permukaan di dalam bangunan, dengan pendekatan:

$$q^*_i = \frac{(g_{pd} - g_{ul})}{1/\alpha_i + 1/A} \quad [\text{W/m}^2]$$

Kecepatan kehilangan panas dari dinding permukaan di luar bangunan ke udara di dalam bangunan, dengan pendekatan:

$$q^*_{d,l} = \frac{(g_{ul} - g_{pd})}{1/\alpha_i + 1/A} \quad [\text{W/m}^2]$$

Kecepatan kehilangan panas dari udara di luar bangunan ke udara di dalam bangunan, dengan pendekatan:

$$q^* = q_i + q + q_d \quad [\text{W/m}^2]$$

$$q^* = \frac{(g_{ul} - g_{pl})}{1/\alpha_i} + \frac{(g_{pl} - g_{pd})}{s/\lambda} + \frac{(g_{pd} - g_{ud})}{1/\alpha_d} \quad [\text{W/m}^2]$$

$$q^* = \frac{g_{ul} - g_{pl} + g_{pl} - g_{pd} + g_{pd} - g_{ud}}{1/\alpha_i + s/\lambda + 1/\alpha_d} \quad [\text{W/m}^2]$$

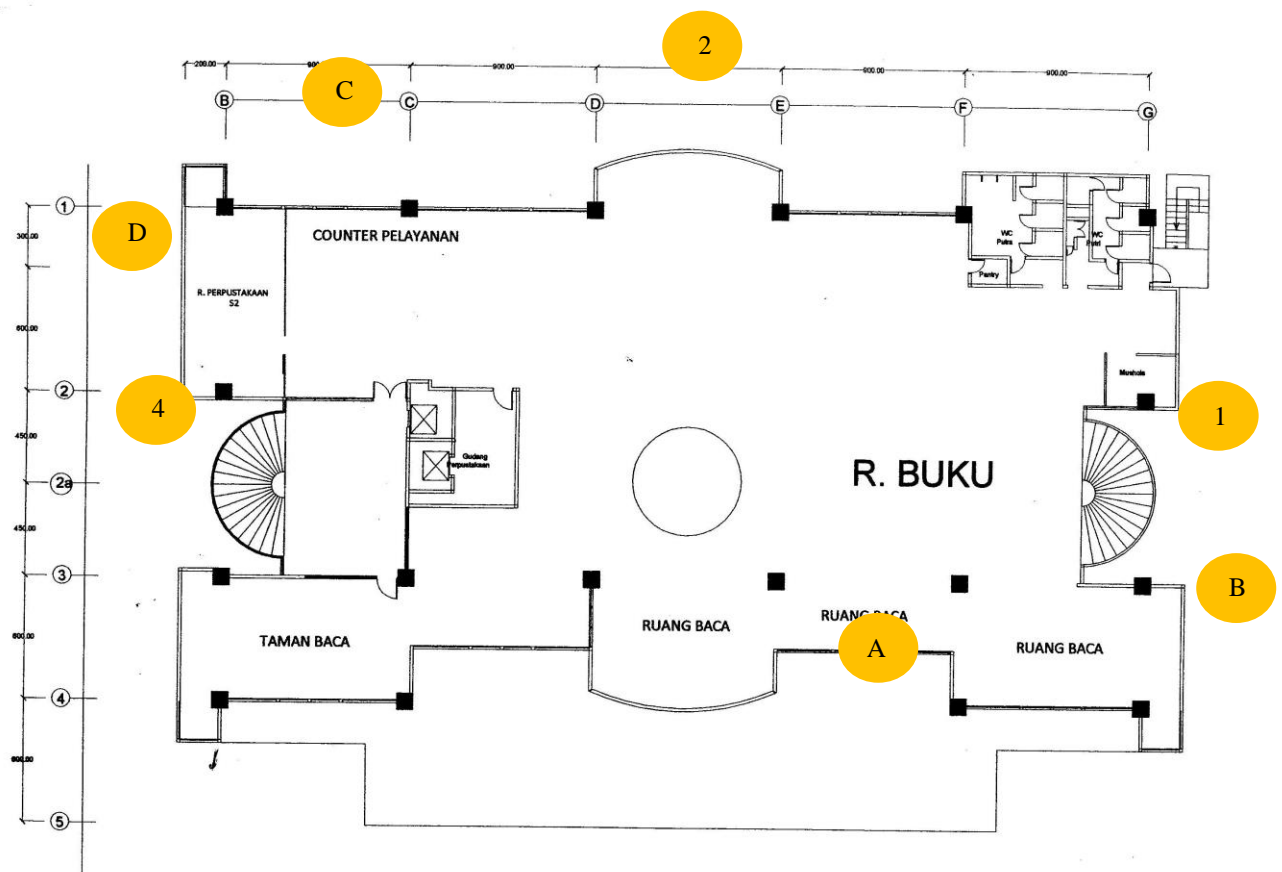
$$q^* = \frac{g_{ul} - g_{ud}}{1/\alpha_i + \sum_n (s/\lambda)_n + 1/\alpha_d} = k(g_{ul} - g_{ud}) \quad [\text{W/m}^2]$$

1.5 Metodologi Penelitian

Metode Penelitian ini menggunakan Metode Deskriptif, yang menggambarkan semua urutan proses perhitungan dan analisis fisika bangunan di Gedung Thomas Aquinas Universitas Katolik Soegijapranata. Penelitian ini diawali dengan mengumpulkan data berupa gambar denah dan potongan gedung Thomas Aquinas Universitas Katolik Soegijapranata Semarang. Selanjutnya data tersebut diolah dalam gambar potongan di program Simulasi WUFI-2D. Selanjutnya menggunakan Software Metronorm 7.2.4 kung iklim lainnya digunakan untuk input software WUFI-2D. Setelah itu dilakukan proses perhitungan untuk mendapatkan hasil gambaran transfer panas di dinding luar gedung Thomas Aquinas. Perhitungan akan dilakukan pada semua varian material fasade bangunan dan dalam arah hadap yang berbeda.

2. PEMBAHASAN

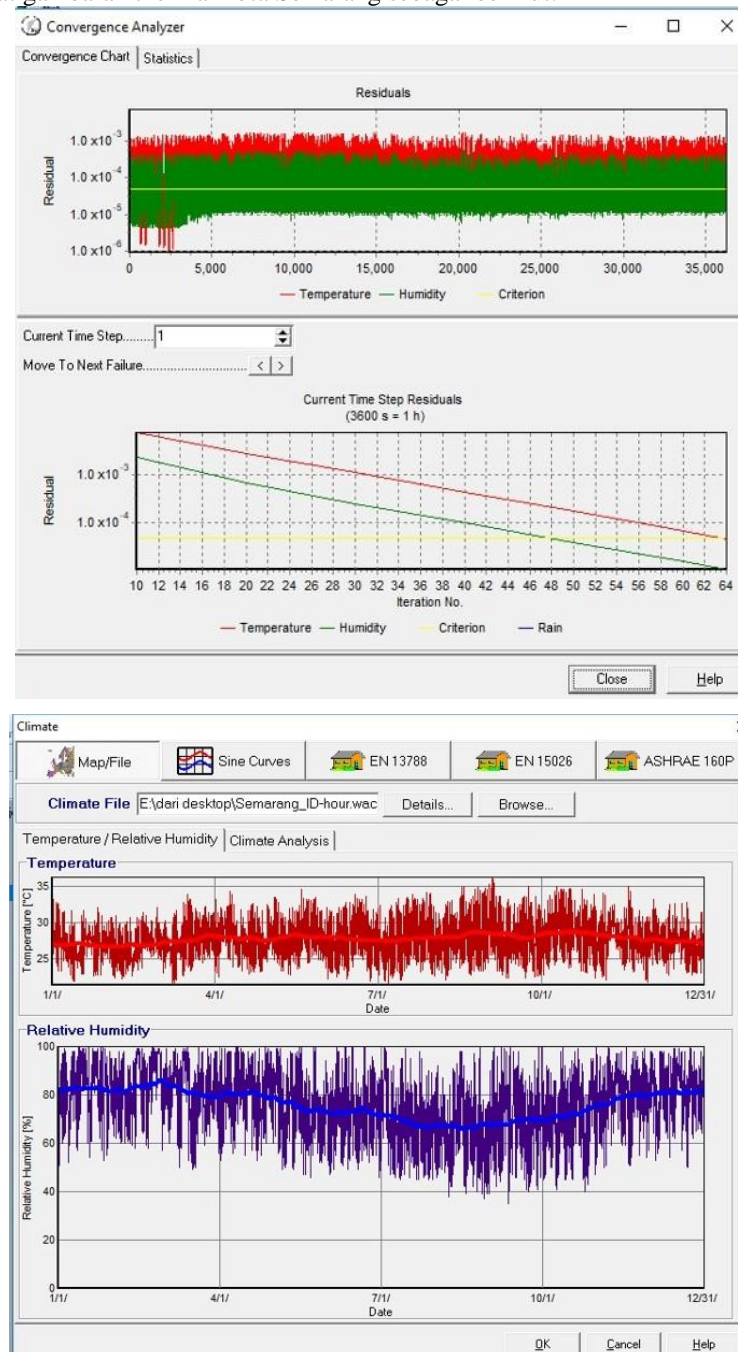
Gedung Thomas Aquinas adalah salah satu Gedung yang dimiliki Universitas Katolik Soegijapranata dengan ketinggian 5 lantai dan dilengkapi dengan dua lantai Basement yang berbentuk Mezzanine. Bangunan ini pertama kali difungsikan sebagai Gedung Perpustakaan dan kemudian di lantai 4 digunakan sebagai ruang kelas untuk program Pasca Sarjana. Gedung ini dirancang dengan bentuk persegi dan menghadap ke arah Timur laut. Pada sisi Barat laut, Barat daya dan Tenggara terdapat bidang kaca.



Titik pengukuran ini di tetapkan dengan pertimbangan ketinggian, arah hadap mata angin dan beberapa jenis bahan bangunan yang diukur, yaitu bahan kaca dan dinding batu bata. Faktor lingkungan sekitar berupa bangunan di samping obyek pengukuran dalam penelitian ini tidak diperhitungkan dalam perhitungan WUFI-2D

Penggunaan software WUFI-2D diawali dengan penggambaran gambar simulasi dasar dari konstruksi kaca berikut dengan lantai bangunan dan dinding berikut dengan lantai. Pengukuran dilakukan pada 4 titik pengukuran dan dilakukan pada setiap posisi dan ketinggian lantai

Setelah penggambaran dilakukan dilanjutkan dengan pengisian data bahan bangunan. Pada data iklim digunakan software tambahan yaitu Meteonorm 7.2.4. dari pengisian data iklim dari software Meteonorm ke WUFI-2D maka didapat gambaran thermal kota Semarang sebagai berikut:



Gambar 3. Data Iklim WUFI-2D dari Meteonorm untuk kota Semarang

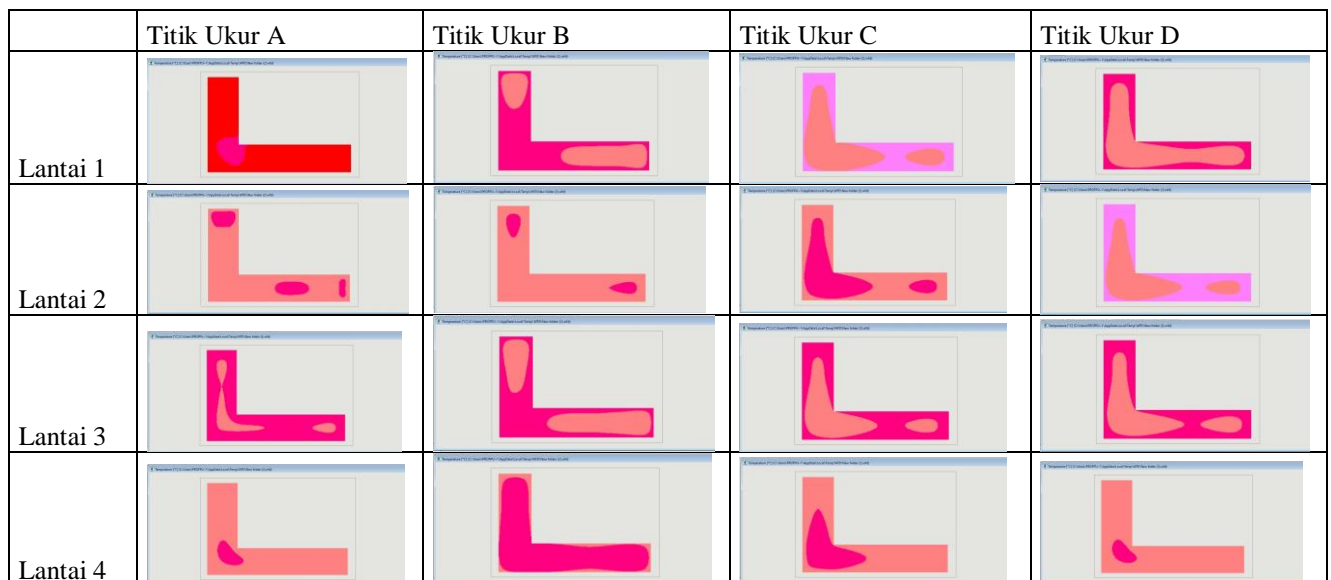
Perhitungan dengan WUFI-2D dilakukan dengan memasukkan data material bangunan, posisi dan ketinggian bidang ukur, arah hadap, nilai thermal seperti Heat Transfer Coefficient, Sd-Value, temperature dan Climate analysis. Setiap sisi dan jenis material bangunan yang dimasukkan sebagai data memiliki karakter dan nilai fisika yang berbeda sesuai dengan lokasi bidang ukur dan arah hadap mata angin. Dari proses perhitungan dengan WUFI-2D didapat hasil untuk bidang Kaca sebagai berikut:

Tabel 1. Temperatur dan Transfer Panas pada bidang kaca



Sementara perhitungan WUFI-2D untuk bidang dinding batu bata dapat dilihat pada gambar berikut ini

Tabel 2. Temperatur dan Transfer Panas pada dinding batu bata



Panduan untuk pengukuran dengan patokan warna sebagai berikut



Dari Hasil perhitungan dengan menggunakan WUFI-2D ini diketahui bahwa temperature dan transfer panas berkisar 23,8°C -27,2°C dan transfer panas yang tergambar dengan variasi bentuk aliran panas terjadi pada lantai beton. Demikian juga sebaran pada dinding batu bata lebih bervariasi hal ini disebabkan oleh hantaran jenis dinding

yang lebih rendah dibanding dengan kaca. Dampak dari iklim luar terhadap iklim di dalam bangunan, dari hasil perhitungan dengan WUFI-2D terlihat pada transport panas yang tertuang dalam gambar hasil pengukuran di atas. Pengaruh temperature sebesar $23,8^{\circ}\text{C}$ - $27,2^{\circ}\text{C}$ mempengaruhi dan menambah beban panas di dalam bangunan. Data ini dapat digunakan sebagai dasar acuan perhitungan pengkondisian udara yang tepat dan sesuai dengan kebutuhan. Dengan Demikian, konsumsi energi listrik dapat digunakan secara optimal.

Solusi praktis dalam perhitungan Fisika Bangunan adalah:

1. Hindari bidang kaca tanpa pelindung berupa sun shading ataupun parapet
2. Data ini digunakan sebagai acuan perhitungan penggunaan AC dengan beban energi yang tepat.

Pada dinding bangunan di daerah tropis tidak memerlukan isolasi panas namun membutuhkan peneduh, desain bangunan yang memiliki bidang fasade yang rata memiliki dampak serapan panas yang besar sehingga mempengaruhi temperatur di dalam bangunan upayakan desain bangunan menghasilkan efek pembayangan dengan adanya bidang dinding yang tidak rata, namun terdapat penonjolan dan posisi dinding yang berundak.

Dampak transfer panas melalui bidang dinding mempengaruhi ruang di dalam bangunan yang melalui rambatan temperatur permukaan dinding. Temperatur permukaan dinding merambat dalam udara mempengaruhi temperatur udara di dalam ruang.

3. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan simulasi WUFI-2D diketahui bahwa pengaruh panas dari luar bangunan melalui dinding dan kaca bangunan, merambat masuk ke dalam ruang dan mempengaruhi kondisi thermal di dalam bangunan. Sun shading sangat dibutuhkan untuk menghalangi panas merambat pada dinding dan kaca. Penggunaan kaca yang langsung menerima sinar matahari bukan merupakan desain bangunan yang tepat untuk daerah tropis.

PUSTAKA

- Alexiou, A., et.al., 2001, *Virtual Laboratories In Education A cheap way for schools to obtain laboratories for all courses, by using the Computer Laboratop, VirRAD European project*, Project No: IST-2001-3239
- Künzel, H.M., 2011, *WUFI-2D Calculation Example Step by Step*, Valley, Fraunhofer Institut Bauphysik
- Mercer, L., 1990, *The Concept and Design of a Virtual Laboratory*, Graphics Interface '90
- Nimlyat, P. S., et.al., 2014, *Computer Simulations in Buildings: Implications For Building Energy Performance*. IOSR Journal of Engineering Vol. 04, Issue 03
- Purwanto, L.M.F., 2017, *Fisika Bangunan*, Semarang, Penerbit CV. Tigamedia Pratama
- Purwanto, L.M.F. & Karsten Tichelmann, 2018, *Solar Heat Transfer in Architectural Glass*
- Satwiko, P., 2004, *Fisika Bangunan*, Yogyakarta, Penerbit Andy

PERANCANGAN PERMUKIMAN PADAT PENDUDUK PINGGIR SUNGAI DENGAN PENDEKATAN *SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS* DI SRENGSENG JAKARTA BARAT, INDONESIA

Yanita Mila Ardiani, Noegroho, Carolina,

Jurusan Arsitektur, Universitas Bina Nusantara, Jl. K.H. Syahdan No. 9
Jakarta Barat 11480
Telp (62-21) 534 5830,

Email :

yanitamila@yahoo.com

Noeginoegroho@gmail.com

carollinxu@gmail.com

ABSTRAK

Seiring perkembangan penduduk yang tinggal di perkotaan seperti Jakarta membuat menurunnya kualitas lingkungan, terutama di lingkungan pinggir sungai yang sering terkena imbas luapan sungai dan banjir. Sesuai tema penelitian untuk mendesain permukiman di Kota Maritim yang berada di sepanjang aliran Sungai, maka dilakukan Penelitian ini dengan tujuan untuk merancang lingkungan dengan titik awal pada sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan sehingga dapat memenuhi kebutuhan warga akan ruang dan kegiatan untuk memberikan rasa nyaman berkenaan dengan kualitas air dan lingkungan.

Metode penelitian yang digunakan adalah campuran metode dengan kualitatif dan kuantitatif. Analisis dilakukan dengan aplikasi analisis dan perhitungan limpasan air hujan perkotaan untuk pelaksanaan sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan untuk menghitung kebutuhan akan media yang luas seperti sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan. Hasil penelitian ini adalah untuk mendapatkan sebuah tipologi unit hunian di pinggir sungai yang sesuai dengan pendekatan teori Sustainable Urban Drainage System. Sehingga kesimpulan penelitian ini adalah untuk mendapatkan perhitungan untuk material yang sesuai standard teori Sustainable Urban Drainage System dan desain dan desain unit hunian yang sesuai untuk area pinggir sungai Sungai Pesangrahan, Srengseng Jakarta Barat.

Keywords: Permukiman, pinggir sungai, Srengseng, Sustainable Urban Drainage System

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jakarta sebagai ibukota Indonesia memiliki jumlah penduduk terpadat dengan jumlah 10.187.595 jiwa menurut Database Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Provinsi DKI Jakarta 2011. Bertambahnya jumlah penduduk yang pesat menyebabkan dibutuhkan banyak permukiman. Permukiman adalah bagian dari lingkungan hidup di luar kawasan lindung, baik yang berupa kawasan perkotaan maupun perdesaan yang berfungsi sebagai lingkungan tempat tinggal atau lingkungan hunian dan tempat kegiatan yang mendukung perikehidupan dan penghidupan (Undang-undang Republik Indonesia Nomor 4 tahun 1992 tentang Perumahan dan Permukiman, Bab I, pasal 1(5)). Permukiman yang dimaksudkan dalam undang-undang ini mempunyai lingkup tertentu yaitu kawasan yang didominasi oleh lingkungan hunian dengan fungsi utama sebagai tempat tinggal yang dilengkapi dengan prasarana, sarana lingkungan, dan tempat kerja terbatas untuk mendukung perikehidupan dan penghidupan, sehingga fungsi permukiman tersebut dapat berdaya guna dan berhasil guna. (Kumurur, 2006) Dan pertambahan penduduk yang pesat inipun juga menyebabkan daerah-daerah yang masih kosong seperti bantaran kali menjadi tempat tujuan bagi para pendatang dari kalangan ekonomi kelas bawah dan akhirnya menjadi permukiman liar dan kumuh. Permukiman kumuh tersebut menimbulkan berbagai permasalahan seperti pencemaran lingkungan dan kesemerawutan kawasan. Hal tersebut berakibat pada timbulnya sumber penyakit pada lingkungan tempat tinggal dan memperburuk estetika kawasan. Permasalahan lainnya juga dapat terjadi pada daerah sungai. Pertumbuhan permukiman yang tidak terkendali dan liar tersebut juga mengakibatkan berkurangnya area limpasan dan resapan air ke dalam tanah. Hal ini menyebabkan seringnya terjadi banjir pada musim hujan. Masalah ini juga berakibat pada penurunan permukaan tanah kota Jakarta yang disebabkan oleh tidak adanya air tanah yang meresap kembali ke dalam tanah. Penanggulangan masalah banjir sudah direncanakan dengan adanya sistem drainase kota dengan metode konvensional. Drainase metode konvensional tersebut didesain untuk kuantitas, yaitu mencegah banjir dengan pembuangan air secepat mungkin. Akan tetapi, metode tersebut tidak dapat mengatasi kualitas aliran air yang rendah dan mengandung polusi sehingga menyebabkan permasalahan. Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan di atas, penerapan SUDS di area permukiman kumuh dan kurangnya pengelolaan air perlu dilakukan. Salah satu area yang memenuhi kriteria

untuk perbaikan tersebut ialah di Srengseng, Jakarta Barat. Area tersebut dinilai kurang baik karena banyaknya pemukiman kumuh dimana kualitas infrastrukturnya dan kondisi rumah-rumahnya tidak memenuhi persyaratan suatu permukiman ideal. Contohnya seperti minimnya drainase yang tersedia, pembuangan sampah tidak pada tempatnya, dan pemanfaatan air tanah berlebihan.

Hasil dari kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa sistem drainase berkelanjutan tidak hanya untuk mengalirkan kelebihan air dari daerah perkotaan tetapi juga mendukung konservasi tanah dan air. Nilai lebih dan terkini pada penelitian ini mengenai tentang desain inovatif pengaplikasian *sustainable urban drainage systems* pada kawasan permukiman padat penduduk dengan menerapkan gabungan beberapa metode dari SUDS tersebut.

Rumusan masalah pada penelitian ini ialah mengenai jumlah penduduk yang tidak terkendali menyebabkan kurangnya area tempat tinggal memadai memicu menurunkan kualitas kehidupan serta sistem drainase pada daerah padat penduduk yang tidak mendukung. Tujuan penelitian ialah untuk merancang permukiman bertitik tolak pada *sustainable urban drainage systems* sehingga dapat memenuhi kebutuhan penghuni akan ruang dan aktivitas agar dapat memberikan rasa nyaman. Selain itu, diharapkan dengan topik tersebut dapat menjadi contoh untuk pembangunan-pembangunan selanjutnya sehingga kota Jakarta dapat menjadi kota layak huni.

Sustainable Urban Drainage System

Istilah sistem drainase berkelanjutan belum memiliki istilah umum yang disepakati bersama. Di Inggris sistem ini dikenal dengan nama *sustainable urban drainage system* (SUDS), sementara pendekatan pengelolaan air hujan ini di Amerika dikenal dan dikategorikan dalam *low impact development* (LID) atau *best management practise* (BMP). Di Australia dikenal dengan *water sensitive urban design* (WUDS) dan beberapa negara maju lain menamakannya *integrated catchment planning and ecological storm water management*. (Andah dan Iwugo, 2002; Stahre 2005; Spillet dan rekan, 2005; DTI Global Watch Mission, 2006)

Sustainable Urban Drainage Systems merupakan suatu sistem yang terdiri dari satu atau lebih struktur yang dibangun untuk mengelola limpasan permukaan air. SUDS sering digunakan dalam perancangan tapak untuk mencegah banjir dan polusi. SUDS didukung oleh berbagai struktur terbangun untuk mengontrol limpasan air. Adapun empat metode umum yang biasa dilaksanakan, yakni: terasering buatan, saluran filtrasi, permukaan berdaya serap, kolam dan lahan basah. Pengontrol tersebut haruslah ditempatkan sedekat mungkin dengan sumber air limpasan, untuk memperlambat kecepatan aliran air sehingga dapat mencegah banjir dan erosi. (CIRIA, 2000)

Pada sistem drainase konvensional, fungsi drainase ialah sebagai media pembuangan air di permukaan secara langsung dan cepat ke sungai. Metode ini menimbulkan berbagai permasalahan karena perbedaan siklus dengan metode alami.

1.2. METODE PENELITIAN

Metode pendekatan analisis yang dipakai dalam studi ini dibagi menjadi 2 pendekatan yaitu:

1. Pendekatan kualitatif, terbagi atas:

- Deskriptif yaitu mendeskripsikan suatu gejala, peristiwa, kejadian yang terjadi pada saat sekarang. (Sujana dan Ibrahim, 1989:65) Pada penelitian ini, pendekatan deskriptif ditujukan untuk mengetahui dua hal yaitu:
 - a. Kondisi kawasan permukiman wilayah studi dan keberadaannya terhadap aktivitas dan tata ruang kota, besaran ruang yang tersedia dan dimanfaatkan oleh aktivitas kawasan untuk mengetahui penyebab kekumuhan.
 - b. Karakteristik dan persyaratan untuk menciptakan sistem drainase yang berkelanjutan dalam upaya untuk memperbaiki kualitas air dan kehidupan di kawasan permukiman kumuh yang merupakan objek penelitian.
- Normatif yaitu menganalisis keadaan objek yang seharusnya mengikuti hukum atau norma atau pedoman ideal tertentu. Aturan baku yang diikuti merupakan aturan pemerintah sebagai landasan hukum terhadap kawasan permukiman, perdagangan, edukasi dan rencana tata ruang kawasan.
- Studi kepustakaan yaitu mengambil data dari literatur (buku, jurnal, prosiding) yang digunakan untuk mencari konsep, teori, dan penemuan yang dapat diterapkan kedalam penelitian ini.

2. Pendekatan kuantitatif: digunakan untuk menghitung faktor-faktor yang berpengaruh dalam perancangan kawasan sesuai dengan metode SUDS.

Adapun analisis yang dilakukan dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Karakteristik penerapan dan persyaratan *sustainable urban drainage systems* dilakukan dengan melakukan studi kepustakaan.
2. Karakteristik hunian dilakukan dengan mengamati unsur-unsur sebagai berikut:
 - a. Jumlah hunian, status kepemilikan, dan jenis bangunan

- b. Penggunaan dan fungsi lahan untuk mengidentifikasi pola penggunaan lahan apakah sesuai dengan standar atau tidak.
3. Ketersediaan sarana dan prasarana penunjang
Melihat kondisi sarana prasarana yang tersedia di lokasi penelitian seputar jalan lingkungan, drainase, dan ruang terbuka hijau untuk melihat kondisi fisik dan cara pemeliharaan.
4. Karakteristik penghuni
 - a. Kondisi ekonomi untuk mengetahui masalah tingkat pendapatan dan jenis pekerjaan masyarakat kawasan permukiman tersebut
 - b. Kondisi sosial dengan melihat tingkat pendidikan masyarakat yang berpengaruh terhadap pemahaman dan kemampuan menerapkan pemeliharaan kualitas lingkungan hidup.

3. HASIL DAN BAHASAN

Lokasi tapak perencanaan terletak di Jl. Lapangan Tennis, Srengseng-Jakarta Barat dengan akses utama pada Jl. Srengseng Raya. Status tanah merupakan hak milik keseluruhannya. Permasalahan yang timbul ialah ketika pemilik tanah memanfaatkan lahannya sebagai area hunian sewa dengan unit-unit kecil yang tidak memadai dengan infrastruktur yang kurang. Dengan mempergunakan analisa SWOT, peneliti dapat mengidentifikasi berbagai faktor secara sistematis sehingga mendapatkan suatu strategi pembangunan yang sinergis. Jumlah penduduk pada saat ini sebanyak 315 jiwa dengan pertumbuhan penduduk per tahun sebesar 2,9%. Perancangan lahan perencanaan menggunakan proyeksi 15 tahun ke depan untuk menghindari terjadinya kepadatan kembali setelah perancangan. Jumlah proyeksi penduduk yang didapatkan sebesar 485 jiwa dengan kebutuhan unit hunian sebesar 120 unit. Kebutuhan luas lahan yang diperlukan dalam perancangan hunian di dalam tapak sebesar 6.984 m².

Jumlah unit komersil yang terdapat di dalam tapak perencanaan tercatat ± 10 unit. Dalam perencanaan, unit komersil yang akan disediakan sebesar 15 unit dengan pertimbangan kesalahan perhitungan selama survey.

Dalam penerapan metode SUDS diperlukan perhitungan debit limpasan sebagai berikut dengan menggunakan Rumus Rasional:

- Koefisien pengaliran (C) = 0,7 untuk daerah pemukiman padat dengan aspal
- Curah hujan rata-rata 10 tahun terakhir (I) = 1,42 m/tahun
- Luas daerah tangkapan (A) = 36.150 m²
- $Q_{limpasan} = 0.278 \times C \times I \times A$
 $= 0.278 \times 0.7 \times 14,2 \times 36.150$
 $= 998,94 \text{ m}^3/\text{tahun} = 1000 \text{ m}^3/\text{tahun}$
- Lama hujan rata-rata pertahun = 144 hari/tahun
- Debit hujan sehari = 7 m³/hari.

Dari total volume air hujan yang masuk ke dalam tapak (*input*) sebesar 1000 m³/tahun, maka volume ruang yang dibutuhkan untuk penerapan SUDS (volume tampungan) selama 3 bulan sebesar 250 m³. Penyebaran luasan untuk metode-metode terapan dijabarkan sebagai berikut:

Nilai maksimal reduksi *runoff* = 49, perhitungan luasan menggunakan rumus:

(nilai reduksi *runoff* : nilai maksimal reduksi *runoff*) x 250 m³

1. *Rainwater harvesting* = 40,9 m³
2. *Permeable pavements* = 45,9 m³
3. *Infiltration trenches* = 45,9 m³
4. *Filter strips* = 45,9 m³
5. *Swales* = 40,8 m³
6. *Basins* = 30,6 m³.

Perhitungan kebutuhan parkir dengan mempergunakan perkiraan setiap 20 jiwa memerlukan 1 unit mobil pribadi, dan luasan parkir 1 mobil *outdoor* sebesar 30 m² sehingga kebutuhan parkir mobil yang diperlukan ialah:

- Jumlah unit diperlukan = 485 jiwa : 20 = 24 unit
- Luasan diperlukan = 24 unit x 30 m² = 720 m².

Sedangkan untuk kebutuhan parkir sepeda motor diasumsikan setiap 2 jiwa memiliki 1 unit sepeda motor, dan luasan parkir 1 sepeda motor *outdoor* sebesar 3 m² maka dibutuhkan:

- Jumlah unit diperlukan = 485 jiwa : 2 = 242,5 unit
- Luasan diperlukan = 242,5 unit x 3 m² = 727,5 m².

Tabel 1. Perencanaan Terkait Hasil Bahasan

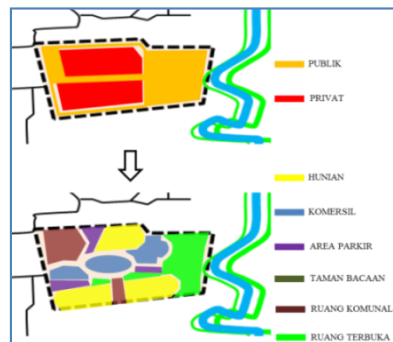
No.	Pembahasan	Analisa	Permasalahan	Respon Desain
1.	<i>Urban Texture</i>			
	<i>Land Use</i>	Penggunaan lahan mayoritas hunian sewaan mengakibatkan penduduk kurang memperhatikan kualitas lingkungan dan hunian	Hunian yang terbentuk berukuran kecil tidak layak	Menentukan luas bangunan berdasarkan standar perorang yaitu 9.6 m ² per orang
	<i>Building Form and Mass</i>	Bentuk bangunan dan peletakkannya tidak teratur ditimbulkan dari kurangnya lahan hunian sehingga penduduk memaksa mendirikan bangunan	<ul style="list-style-type: none"> Terbentuk gang-gang kecil Tidak adanya ruang untuk <i>open space</i> 	Penataan massa bangunan horizontal menjadi vertikal sehingga timbul ruang-ruang baru untuk jalan dan <i>open space</i>
2.	<i>Urban Circulation and Parking</i>			
	<i>Circulation and Parking</i>	Pengguna jalan yang cukup ramai meskipun lebar jalan cukup kecil dan banyak yang parkir kendaraan di tepi jalan karena kekurangan ruang	<ul style="list-style-type: none"> Kurangnya lebar jalan Kurangnya area parkir 	Memperluas lebar jalan dan menyediakan area parkir komunal
	<i>Pedestrian Ways</i>	Tidak adanya jalur pejalan kaki karena kekurangan ruang	Membahayakan keselamatan masyarakat	Menyediakan pedestrian dengan lebar minimum
3	<i>Urban Transportation</i>	Pengguna angkutan umum kurang diperhatikan dengan tidak adanya terminal	Masyarakat enggan menggunakan transportasi umum	Membuatkan <i>pedestrian</i> menuju terminal agar mendukung masyarakat
4	<i>Urban Economy</i>			
	Ekonomi Masyarakat	Mayoritas masyarakat merupakan kalangan ekonomi bawah sehingga mereka tidak mampu memiliki hunian layak	Hunian masyarakat kecil dan ada yang tidak layak ditinggali	Menyediakan hunian yang layak terhadap ekonomi, sosial, dan lingkungan
	<i>Activity Support</i>	Kurangnya ruang menyebabkan banyak kegiatan masyarakat yang tidak tertampung	<ul style="list-style-type: none"> Muncul pedagang kaki lima Anak-anak bermain di jalan 	Menyediakan ruang-ruang yang dibutuhkan seperti area komersil yang mudah dijangkau dan ruang terbuka
5	<i>Urban Greenery</i>	Ruang-ruang tersedia tidak cukup untuk kebutuhan hidup warga sehingga mereka tidak memperdulikan tentang ruang terbuka hijau	Ruang kosong yang ada disalahgunakan	
6	<i>Urban Infrastructure</i>			
	Kebutuhan Sarana Prasarana berdasarkan SNI	Kurangnya pengetahuan masyarakat mengenai standar hunian yang layak	Kurangnya sarana dan prasarana masyarakat untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari	Memberikan sarana yang kurang yaitu taman bacaan dan taman/area bermain
	Infrastruktur	Masih kurangnya infrastruktur yang layak bagi masyarakat ditandai dengan beberapa	<ul style="list-style-type: none"> Pemanfaatan air tanah untuk sehari-hari Drainase yang tidak 	Memperbaiki kawasan dari segi drainase dan menyediakan tempat

		penurunan kualitas lingkungan	berfungsi dengan baik • Pembuangan sampah sembarangan	pembuangan sampah bagi masyarakat
7	<i>Micro-Climate</i>			
	Matahari	Tapak yang dikelilingi oleh bangunan dengan ketinggian rendah	Tidak mendapatkan pembayangan yang dapat mereduksi panas	Memberikan bukaan ke arah timur sehingga mendapatkan sinar matahari yang baik dan sedikit terpaan angin
	Angin		Tidak adanya penahan dari angin	
8	Topografi	Kontur tanah yang relatif datar	Mempertahankan kontur yang telah ada sehingga menghemat biaya pengerjaan	Mendesain kawasan dengan memperhatikan kontur tanah

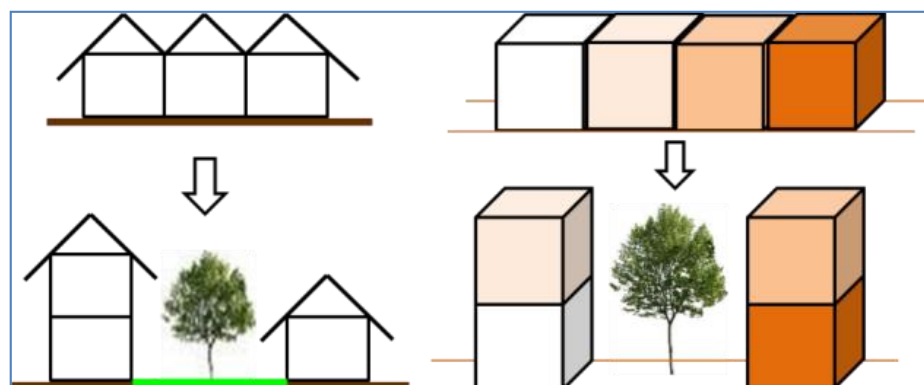
Sumber: Data Olahan Pribadi., 2013

3.1. Massa Bangunan

Orientasi massa menghadap ke 2 arah yaitu utara dan selatan untuk memaksimalkan tapak. Sistem peletakkan unit bangunan berupa *cul-de-sac* sehingga tercipta ruang-ruang komunal yang merupakan area rekreasi dan tempat berkumpul bagi masyarakat. Ruang terbuka hijau yang diletakkan membatasi tapak dengan sekelilingnya juga berfungsi sebagai ruang komunal tempat bagi penduduk. Area komersil dan fasilitas tapak diletakkan memanjang dari timur hingga barat tapak sehingga dapat terjangkau oleh seluruh masyarakat di dalam maupun di luar tapak perencanaan. Fasilitas yang disediakan di dalam tapak berupa pasar terbuka, aula multiguna, taman bacaan, lapangan basket, serta amfiteater.



Gambar 1. Zoning Tapak



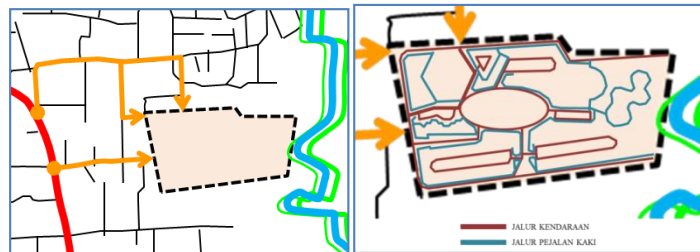
Gambar 2. Building Form

Peletakkan area parkir mobil di sebelah barat dari unit hunian ukuran 90 bertujuan untuk menciptakan rasa aman bagi pengguna jalan. Akan tetapi, tempat parkir kendaraan motor/sepeda diletakkan pada samping-samping rumah untuk memudahkan pencapaian pemilik kendaraan. Selain itu, peletakkan area parkir yang tidak

terlalu dalam ke dalam tapak untuk mencegah masuknya kendaraan ke area ruang terbuka di tepi sungai. Berdasarkan pada pembahasan subbab *Building Form and Mass*, penataan massa bangunan dijadikan vertikal namun tetap sesuai dengan tinggi bangunan sekitar untuk menjaga *skyline* kawasan.

3.2. Pola Jalan dan Sirkulasi

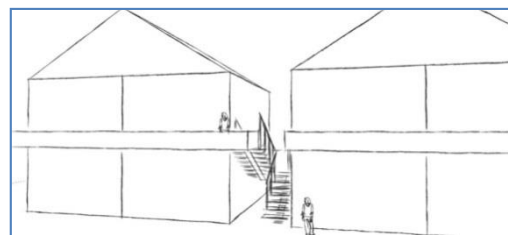
Pencapaian ke dalam tapak dapat menggunakan 3 jalur dengan tingkat jalan lingkungan. Jalur (1) melalui Jalan Lapangan Bola dan jalur (2) dan (3) melalui Jalan Srengseng Dalam.



Gambar 3. Entrance ke Dalam Tapak

Lebar jalan yang sempit dan pemanfaatan tapak sebagai area permukiman maka lebih ideal apabila untuk *entrance* ke dalam tapak memanfaatkan ketiga jalur tersebut. Selain itu, apabila hanya menggunakan salah satu dari ketiga jalur yang tersedia akan menyebabkan kurangnya sosialisasi antara penduduk di dalam dengan di luar tapak. Pola sirkulasi jalan kendaraan di dalam tapak menggunakan pola *grid* sedangkan pola pejalan kaki pola *grid* dan *cul-de-sac*. Pada jalur kendaraan juga terdapat jalur pejalan kaki (*pedestrian*) dengan ukuran 1,50-2,00 meter.

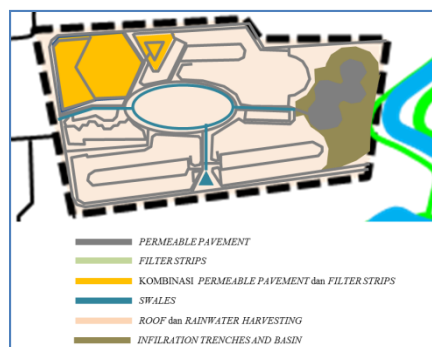
Penghuni unit hunian yang berbeda antar lantai mengakibatkan kemungkinan terjadinya *cross* pada sirkulasi dan kurangnya rasa nyaman. Respon desain yang dilakukan yaitu memberikan tangga sirkulasi yang memadai dengan lebar 1,50 meter dengan pencahayaan dan penghawaan yang alami.



Gambar 4. Sirkulasi Antar Unit Hunian

3.3. Infrastruktur

Sumber air bersih di dalam tapak yang sebelumnya menggunakan air tanah menjadi menggunakan PDAM. Sistem drainase pada tapak perencanaan memanfaatkan konsep *sustainable urban drainage systems*. Dalam penerapannya didalam tapak memanfaatkan metode *green roofs*, *rainwater harvesting*, *permeable pavements*, *infiltration trenches*, *filter strips*, *swales*, dan *basins*. Pola peletakkan metode-metode sesuai dengan kontur tapak yang menurun ke arah timur.



Gambar 5. Zoning Peletakkan Metode-Metode SUDS

Control systems pada penerapan metode SUDS adalah sebagai berikut:

1. *Rainwater harvesting*

Sistem penampungan air hujan berupa peletakkan tong-tong pada setiap 1 unit massa bangunan (terdiri dari 2 rumah tangga). Air hujan yang mengalir pada atap kemudian dialirkan ke dalam tong-tong tersebut. Setiap massa bangunan bertanggung jawab dalam pengaturan dan pemanfaatan dari air tampungan tersebut. Air yang telah ditampung dapat dimanfaatkan sebagai air untuk *flush* kloset dan untuk menyiram tanaman pada massa bangunan fasilitas umum dan sosial

2. *Permeable Pavement* dan *Filter Strips*

Air hujan yang jatuh ke tanah melewati *permeable pavement* sebagai resapan dan mengikuti kemiringan jalan mengarah kepada *filter strips* yang berfungsi sebagai area resapan sekaligus berperan sebagai selokan menuju kolam penampungan

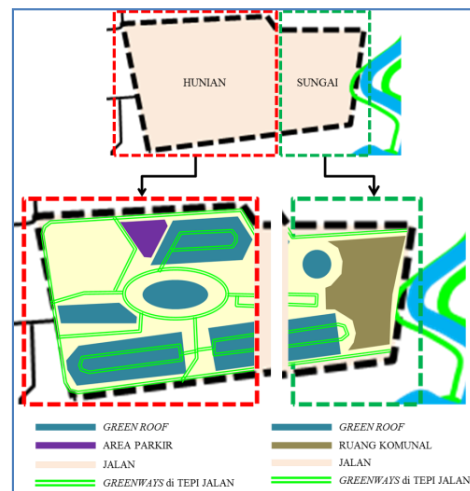
3. *Swales* dan *basin*

Air hujan yang mengalir melalui *filter strips* menuju sengekan yang kemudian berakhir pada kolam penampungan. Air tampungan tersebut dimanfaatkan sebagai air untuk menyiram taman dan estetika. Kolam tampungan juga berfungsi sebagai media *buffering* sebelum pembuangan ke sungai.

3.4. Ruang Terbuka

Perancangan ruang terbuka pada tapak perencanaan dilatarbelakangi oleh 2 faktor yaitu peletakkan metode SUDS dan sungai. Oleh sebab itu, perencanaan ruang terbuka dibagi menjadi 2 yaitu bagian timur (sungai) dan barat (hunian).

- Pada bagian hunian, ruang terbuka berupa jalan kendaraan dan *pedestrian*, metode-metode terapan SUDS, dan ruang terbuka hijau di antara unit hunian
- Pada bagian sungai, ruang terbuka berupa metode-metode terapan SUDS dan bantaran sungai.



Gambar 6. Zoning Ruang Terbuka

3.5. Material

Pemanfaatan material terkait metode *sustainable urban drainage systems* pada beberapa titik dijelaskan sebagai berikut:

1. Area parkir dan jalan

Pada area ini menggunakan perkerasan berpori yang dapat menyerap air ke dalam permukaan tanah. Manfaat dari penggunaan material ini sebagai upaya untuk mengembalikan ke dalam tanah.

2. *Rainwater harvesting*

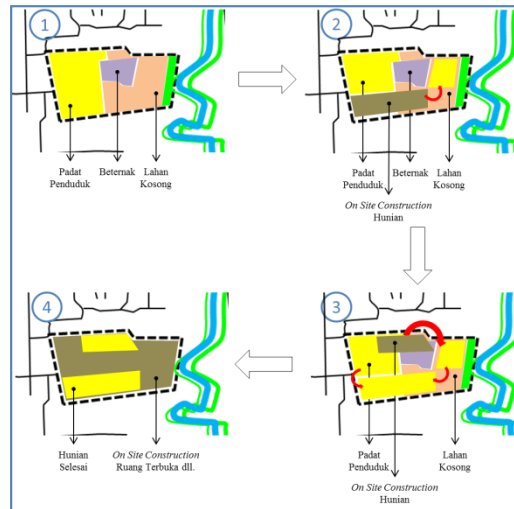
Penampungan air hujan yang mengalir dari atap menggunakan material tong dari plastik. Peletakkan tong tersebut pada lantai di atas sehingga dalam pemanfaatannya tidak perlu menggunakan pompa.

3.6. Tahapan Pembangunan

Tahapan pembangunan yang dilakukan ialah dengan memanfaatkan lahan kosong yang ada di dalam tapak. Pentahapan akan dijabarkan sebagai berikut:

1. Membangun hunian sementara dengan metode *knock-down* pada lahan kosong yang terletak pada sebelah timur tapak
2. Setelah hunian sementara selesai, sebagian penduduk dipindahkan ke hunian-hunian sementara tersebut

3. Setelah unit hunian permanen jadi, penduduk dipindahkan ke dalam unit tersebut. Pekerjaan dilanjutkan dengan memindahkan penduduk di area yang akan dikonstruksi ke unit *knock-down* yang telah disiapkan.
4. Setelah semua unit hunian selesai dibangun dan penduduk ditempatkan ke dalam hunian mereka, tahapan terakhir yaitu dengan membangun lahan yang tersisa.



Gambar 7. Tahapan Pembangunan

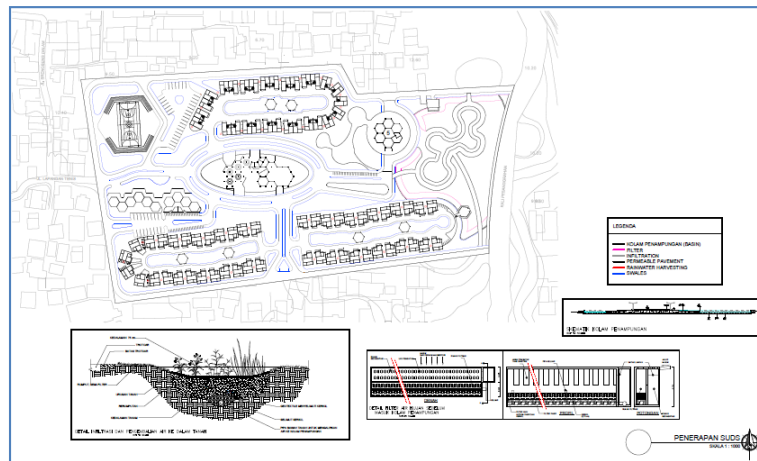
4. SIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan dari bab 1 sampai dengan bab 4 yang telah dibuat mengenai perancangan kawasan dengan metode *sustainable urban drainage systems*, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

- a. Pengaplikasian metode *sustainable urban drainage systems* berupa *rainwater harvesting*, *permeable pavements*, *infiltration trenches*, *filter strips*, *swales*, dan *basins* ke dalam fungsi dan layout perancangan lingkungan dan bangunan
- b. Debit air hujan yang masuk (*input*) ke dalam tapak perencanaan sebesar 998,94 m³/tahun dengan volume penampungan yang harus disiapkan untuk penampungan air selama 3 bulan sebesar 250 m³
- c. Penerapan konsep *sustainable urban drainage systems* berupa penerapan dengan perancangan kawasan bertitik tolak pada sistem drainase dengan memperhatikan konservasi air hujan
- d. Mendesain kawasan permukiman di Srengseng dengan konsep SUDS tersebut dengan memperhatikan penempatan metode-metode yang dipergunakan di dalam *zoning* dan *site plan* sehingga timbul kesinambungan antara lingkungan dengan konsep SUDS.



Gambar 9. Site Plan Hasil Desain



Gambar 10. Penerapan SUDS pada Tapak Perencanaan

REFERENSI

- Ciria C522. (2000). *Sustainable Urban Drainage Systems design manual for England and Wales*. London.
- Cullen, G. (1995). *The Concise Townscape*. New York: Routledge
- Hendratta, L. A., Sumanti, F. P., & Kenda, A. (2010). An Innovative Sustainable Approach On Urban Drainage System Of Manado City. *Annals Of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*, 101-106.
- Mustika Anggraeni, G. P. (2013). The Effectiveness of Bio-pore as an Alternative Eco drainage Technology (Case Study: Metro Sub-Watershed). *Journal of Applied Environmental and Biological Science*, 23-28.

ANALISIS PROFIL LULUSAN ARSITEKTUR

Suzzana Winda Artha Mustika¹, Yohanes Dicka Pratama², R. Kristoforus Jawa Bendi³

Program Studi Teknik Arsitektur, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Katolik Musi Charitas
Jalan Bangau No. 60, Palembang

Telp. (0711) 366326

²Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Katolik Musi Charitas
Jalan Bangau No. 60, Palembang

³Program Studi Informatika, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Katolik Musi Charitas
Jalan Bangau No. 60, Palembang

E-mail: suzzwinz@gmail.com, dicka@ukmc.ac.id, kristojb@gmail.com

ABSTRAK

Dalam menetapkan profil lulusan, universitas atau perguruan tinggi perlu menganalisis kebutuhan dari pasar kerja atau pemangku kepentingan. Profil lulusan yang ditentukan harus mencerminkan apa yang dibutuhkan oleh pasar. Dalam hal ini pendekatan yang digunakan untuk menentukan profil lulusan arsitektur dilakukan dengan analisis kebutuhan pasar kerja. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui profil/posisi yang dibutuhkan oleh pasar kerja. Sedangkan manfaatnya sebagai informasi dan bahan evaluasi bagi dunia kerja dan sistem pembelajaran. Profil atau posisi pekerjaan yang dibutuhkan untuk program studi Arsitektur antara lain engineer, visualizer, arsitek, telemarketing, dan designer. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama untuk meningkatkan kualitas lulusan arsitektur.

Kata Kunci: profil lulusan, pasar kerja, arsitektur

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam panduan penyusunan kurikulum yang dikeluarkan oleh DIKTI (K-DIKTI), yang pertama perlu dilakukan oleh universitas atau perguruan tinggi dalam melakukan penyusunan kurikulum adalah menetapkan profil lulusan. Penetapan profil lulusan yaitu menetapkan peran yang dapat dilakukan oleh lulusan dibidang keahlian tertentu setelah menyelesaikan studinya (Sailah dkk, 2014). Dalam menetapkan profil lulusan, universitas atau perguruan tinggi perlu menganalisis kebutuhan dari pasar kerja atau pemangku kepentingan. Profil lulusan yang ditentukan harus mencerminkan apa yang dibutuhkan oleh pasar. Ketidaksesuaian kemampuan lulusan dengan apa yang dibutuhkan dapat berakibat pada besarnya tingkat pengangguran yang berasal dari universitas atau perguruan tinggi (Weligamage & Siengthai, 2003).

Penentuan profil lulusan dan juga kemampuan-kemampuan yang dibutuhkan oleh lulusan dapat dilakukan dengan beberapa pendekatan seperti *tracer study* dan/ analisis kebutuhan pasar kerja. Analisis profil lulusan dengan cara *tracer study* banyak dilakukan oleh beberapa peneliti (Abdulah *et al*, 2013; Mushon *et al*, 2012; Ramirez *et al*, 2014; Yani dkk, 2012; Setiawati, 2010). *Tracer study* bertujuan untuk mengetahui *outcome* pendidikan dalam bentuk transisi dari dunia pendidikan tinggi ke dunia kerja, *output* pendidikan yaitu penilaian diri terhadap penguasaan dan pemerolehan kompetensi, proses pendidikan berupa evaluasi proses pembelajaran dan kontribusi pendidikan tinggi terhadap pemerolehan kompetensi serta input pendidikan berupa penggalan lebih lanjut terhadap informasi sosiobiografis lulusan.

Di Fakultas Sains Dan Teknologi UKMC terdapat Program Studi Teknik Arsitektur yang saat ini sedang melakukan peninjauan kurikulum. Peninjauan kurikulum diperlukan bagi Program Studi Teknik Arsitektur untuk dapat memberikan pelayanan dan juga program-program belajar yang sifatnya mengikuti perkembangan teknologi dan juga kebutuhan pasar kerja. Dalam hal ini pendekatan yang digunakan untuk menentukan profil lulusan arsitektur dilakukan dengan analisis kebutuhan pasar kerja. Beberapa peneliti melakukan penelitian untuk mengetahui kebutuhan pasar kerja melalui iklan lowongan pekerjaan (*job advertisement*), baik melalui media *online* (Salleh *et al*, 2013; Lauer & Brumberger, 2014; Kennan *et al*, 2008) maupun media cetak (Martono, 2010; Ayalew *et al*, 2011). Informasi dari Iklan lowongan pekerjaan sangat bernilai bagi pendidik (termasuk perguruan tinggi untuk melakukan rekurikulum), pengusaha, dan lulusan pada suatu bidang kedepannya (Kenna *et al*, 2009; Ayalew *et al*, 2011).

Tujuan dari penelitian ini yaitu profil lulusan arsitektur apakah yang dibutuhkan oleh pasar kerja. Lingkup pembahasan penelitian ini dibatasi pada profil lulusan arsitektur yang dibutuhkan oleh pasar kerja di Indonesia. Sedangkan manfaatnya sebagai informasi dan bahan evaluasi bagi dunia kerja dan sistem pembelajaran.

1.2 Tinjauan Pustaka

Kurikulum Perguruan Tinggi atau K-DIKTI adalah kurikulum yang mendasarkan pada pencapaian kemampuan yang telah disetarakan secara internasional untuk menjaga mutu lulusannya. Kurikulum ini mulai diperkenalkan pada tahun 2012. Penyusunan Kurikulum Perguruan Tinggi (K-DIKTI) melahui tiga tahap sebagai berikut (Sailah dkk, 2014):

a. Tahap penyusunan capaian pembelajaran

Capaian pembelajaran merupakan parameter luaran (*learning outcomes*) yang harus dimiliki oleh lulusan setelah menyelesaikan pendidikan di suatu perguruan tinggi. Proses penentuan capaian pembelajaran dapat dilakukan dengan melakukan penelusuran lulusan, masukan dari pemangku kepentingan, asosiasi profesi/keilmuan, dan juga perkembangan ilmu/pengetahuan. Hal pertama yang perlu dilakukan dalam merumuskan capaian pembelajaran adalah menentukan profil lulusan.

b. Tahap pembentukan dan penyusunan mata kuliah

Pada tahap ini rumusan pengetahuan yang harus dikuasai dari suatu program studi diurai menjadi bahan kajian dan ditetapkan tingkat penguasaan, keluasan, dan kedalamannya. Penetapan ini perlu melibatkan kelompok atau bidang yang ada pada suatu program studi, dengan mangacu pada rumpun, cabang, dan ranting keilmuan yang terkait dengan prodi. Untuk membungkus bahan kajian menjadi mata kuliah, perlu membuat matriks antara unsur-unsur dalam perumusan capaian pembelajaran dengan bahan kajian, sehingga ini dapat menjamin keterkaitan diantara keduanya.

c. Penyusunan struktur/kerangka kurikulum

Tahap ini adalah menyusun mata kuliah ke dalam semester. Pola susunan mata kuliah perlu memperhatikan hal-hal berikut beberapa hal, diantaranya;

- 1) Beban sks rata-rata disetiap semester yakni 18-20 sks. Pembebanan sks untuk setiap mata kuliah didasarkan pada perkiraan waktu yang dibutuhkan oleh mahasiswa untuk dapat memiliki kemampuan yang dibebankan pada mata kuliah tersebut;
- 2) Ketepatan letak mata kuliah yang disesuaikan dengan keruntutan tingkat kemampuan dan integrasi antar mata kuliah;
- 3) Strategi pembelajaran yang direncanakan dalam usaha memenuhi capaian pembelajaran lulusan.

Penelitian-penelitian terkait penelusuran profil lulusan maupun kompetensi yang diperlukan oleh lulusan perguruan tinggi sudah banyak dilakukan. Bagian ini akan menjelaskan secara singkat mengenai penelitian-penelitian tersebut.

Tabel 1. Ringkasan penelitian terdahulu

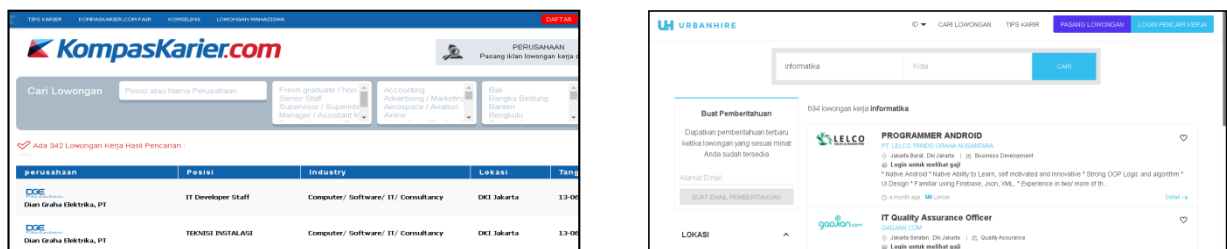
NO	Referensi	Cara penyusunan profil	Prodi	Sampel	Alat statistik	Tujuan
1	Salleh <i>et al</i> , 2013	<i>Online Job Advertisement</i>	Arsitektur	78 <i>Job Advertisement</i>	Analisis Deskriptif	Untuk mengetahui kebutuhan pasar kerja berkaitan dengan kompetensi yang harus dimiliki oleh lulusan arsitek.
2	Martono, 2010	<i>Content Analysis Job Advertisement</i>	Multi-prodi	3 Surat Kabar	Analisis Deskriptif	Untuk mengetahui jenis lapangan pekerjaan dan kriteria tenaga kerja yang dibutuhkan.
3	Lauer & Brumberger, 2014.	<i>Online Job Advertisement</i>	Informatika	2000 Iklan Pekerjaan	Analisis Deskriptif	Untuk mengetahui anatomi dari bidang pekerjaan <i>user experience</i>
4	Kennan <i>et al</i> , 2008	<i>Online Job Advertisement</i>	Sistem Informasi	400 <i>Ads</i>	Analisis Deskriptif	Untuk mengetahui posisi, pengetahuan, skill, dan kompetensi yang dimiliki oleh lulusan sistem informasi.

5	Ayalew <i>et al.</i> , 2011	<i>Content Analysis Job Advertisement</i>	Informatika	7 Surat Kabar	Analisis Deskriptif	Untuk digunakan dalam proses revisi dan pengembangan kurikulum yang baru.
---	-----------------------------	---	-------------	---------------	---------------------	---

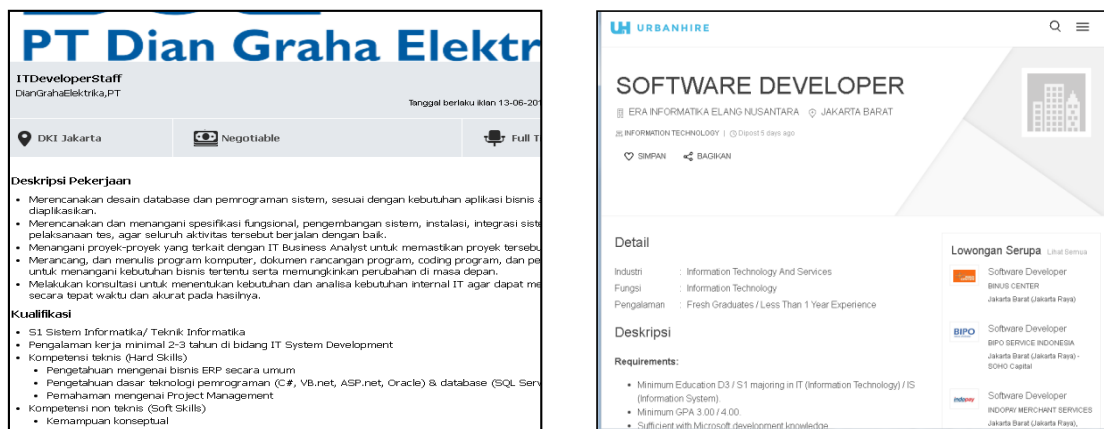
Iklan lowongan kerja dikompilasi dan dianalisis sebagai sarana pengumpulan data untuk belajar. Beberapa pengetahuan kunci, keterampilan dan atribut pribadi telah ditemukan sangat dicari oleh perusahaan. Pengetahuan, keterampilan, dan sifat-sifat yang dianggap penting tidak hanya umum kompetensi atau keterampilan desain tetapi lebih untuk sifat-sifat pribadi seperti mampu bekerja secara mandiri dan juga kemampuan untuk bekerja sebagai bagian dari tim (Salleh *et al.*, 2013).

1.3 Metodologi Penelitian

Objek penelitian ini adalah iklan lowongan kerja yang dipublikasikan secara online pada laman www.kompaskarier.com dan laman www.urbanhire.com (Gambar 1). Pada laman tersebut berbagai perusahaan dari beraneka jenis industri memublikasikan posisi-posisi pekerjaan yang dibutuhkan disertai deskripsi dan kualifikasinya (Gambar 2).



Gambar 1. Tampilan laman



Gambar 2. Deskripsi pekerjaan dan kualifikasi

Populasi penelitian ini adalah iklan lowongan kerja yang dipublikasikan secara online pada laman yang telah disebutkan sebelumnya. Sampel akan diambil secara *purposive* dengan beberapa kriteria berikut: (1) Iklan yang mensyaratkan pengalaman kerja di atas empat tahun akan diabaikan; (2) Iklan yang mensyaratkan lulusan program studi di luar arsitektur akan diabaikan.

2. PEMBAHASAN

Sampel data diambil dari laman www.kompaskarier.com dan laman www.urbanhire.com pada periode Oktober 2016 sampai dengan November 2016 sebanyak 45 sampel. Dari jumlah tersebut 43 sampel yang memenuhi syarat untuk diolah lebih lanjut.

2.1 Kebutuhan Posisi Pekerjaan

Pada Tabel 3 menunjukkan jenis posisi pekerjaan yang dibutuhkan oleh perusahaan berkaitan dengan program studi arsitektur. Jika dilihat dari deskripsi pekerjaannya, posisi pekerjaan untuk arsitek berkaitan dengan kegiatan untuk melakukan survei, perancangan detail hingga melakukan presentasi mengenai hasil perancangan. Selain itu, seorang arsitek juga harus mampu melakukan pengawasan terhadap proyek yang dirancang dan melakukan pelaporan maupun dokumentasi dari proyek tersebut. Bagi posisi *designer*, beberapa iklan lowongan pekerjaan mensyaratkan bahwa *designer* harus mampu mengerjakan gambar 3D, membuat *layout*, membuat denah membuat render dan juga memahami konsep desain dengan baik.

Tabel 2. Kebutuhan posisi pekerjaan arsitektur

No	Posisi	Jumlah	Presentase
1	Engineer	10	23.81%
2	Visualizier	1	2.38%
3	Arsitek	17	40.48%
4	Telemarketing	1	2.38%
5	Designer	14	30.95%
Total		43	100.00%

Tabel 3. Posisi pekerjaan

No.	Ads Source	Company Name	Position Name	General Code Position Name	Spesific Position Name
1	Kompas Karir	PT INTILAND DEVELOPMENT, TBK	Arsitek Engineer	Engineer	Arsitek
2	Kompas Karir	PT GRAHA IRASSLESTARI	3D Interior Designer/Visualizier	Visualizier	Design
3	Kompas Karir	PT DAMAI KREASI CIPTA	Arsitek	Engineer	Software Engineer
4	Kompas Karir	PT STYLISH JAYAMAS PERSADA	Arsitek	Arsitek	Arsitek
5	Kompas Karir	PT SOLIDES PROPERTINDO	Junior Arsitek	Engineer	Arsitek
6	Kompas Karir	PT ARTA BOGA	Staf Building - Arsitek	Arsitek	Planner
7	Kompas Karir	PT RAMAYANA LESTARI SENTOSA TBK	Fit Out	Engineer	Engineer
8	Kompas	PT TRIMATRA	Staff OPIC	Engineer	Engineer

<i>No.</i>	<i>Ads Source</i>	<i>Company Name</i>	<i>Position Name</i>	<i>General Code Position Name</i>	<i>Spesific Position Name</i>
	Karir	TATAGRAHA			
9	Kompas Karir	PT DACORE	Sales and Marketing	Telemarketing	Arsitek
10	Kompas Karir	PT DACORE	<i>Interior Designer</i>	<i>Design</i>	<i>Design</i>
11	Kompas Karir	PT BINAJASA SUMBER SARANA	Drafter	Arsitek	Drafter
12	Kompas Karir	SURYA KUMARA INDONESIA	Arsitek	Arsitek	Arsitek
13	Kompas Karir	ARCHIRECON	Arsitek	Arsitek	Arsitek
14	Kompas Karir	EDARCHITECT	Junior Arsitek/Drafter Arsitek	Arsitek	Drafter
15	Kompas Karir	DPAVILION ARCHITECTS	Junior Arsitek	Arsitek	Arsitek
16	Kompas Karir	KIAN AJI HUTAMA	Arsitek Junior	Arsitek	Arsitek
17	Kompas Karir	INDONESIA VILLAJAYA	Arsitek	Arsitek	Arsitek
18	Kompas Karir	SURYA CITRA SEMESTA (SCS GROUP)	Teknik Bangunan (Arsitek)	Arsitek	<i>Engineer</i>
19	Kompas Karir	MULTI GRAHA PERSADA INDAH	Pelaksana (Pengawas Lapangan)	Arsitek	Pengawas
20	Kompas Karir	MULTI GRAHA PERSADA INDAH	Drafter	Arsitek	Drafter
21	Kompas Karir	PODO JOYO MASYHUR	Staff Teknik	<i>Engineer</i>	Arsitek
22	Kompas Karir	MORGAN FURNITURE INTERNASIONAL	Interior Designer	<i>Design</i>	<i>Design</i>
23	Kompas Karir	PT SERASI AUTORAYA	<i>Building Infrastructure Management Analyst</i>	<i>Engineer</i>	<i>Design Project</i>
24	Urbanhire	PT. CITY-AD EXPO INDONESIA	<i>Graphic Designer</i>	<i>Design</i>	Arsitek
25	Urbanhire	PT. TOP FINANCE	Arsitektur Junior	Arsitek	Arsitek

<i>No.</i>	<i>Ads Source</i>	<i>Company Name</i>	<i>Position Name</i>	<i>General Code Position Name</i>	<i>Spesific Position Name</i>
26	Urbanhire	PT. CAHAYA SAKTI INVESTINDO SUKSES	<i>Designer</i>	<i>Design</i>	Design
27	Urbanhire	PT. HOME CENTER INDONESIA	<i>Designer Interior</i>	<i>Design</i>	<i>Design</i>
28	Urbanhire	PT. BCA FINANCE	<i>Building Management Staff</i>	<i>Engineer</i>	Arsitek
29	Urbanhire	PT. HOME CENTER INDONESIA	<i>Interior Designer</i>	<i>Design</i>	<i>Design</i>
30	Urbanhire	PT. NASARI INDONESIA	<i>Interior Designer</i>	<i>Design</i>	<i>Design</i>
31	Urbanhire	PT. HOME CENTER INDONESIA	<i>Interior Design</i>	<i>Design</i>	<i>Design</i>
32	Urbanhire	PT. GRIYA MIESEJATI	<i>Designer</i>	<i>Design</i>	<i>Design</i>
33	Urbanhire	PT. DESAIN REVOLUSI INDONESIA	<i>Junior Design Architect</i>	<i>Design</i>	Arsitek
34	Urbanhire	ROYAL CORPORATION	ARCHITECT / INTERIOR DESIGNER / ARSITEK / DESAINER INTERIOR	<i>Design</i>	Arsitek
35	Urbanhire	BUANA GLOBAL PROPERTINDO	<i>QUANTITY SURVEYOR</i>	<i>Design</i>	<i>Software Engineer</i>
36	Urbanhire	GRAHA MAKMUR MITRA SEJAHTERA	<i>FIELD COORDINATOR (PELAKSANA LAPANGAN)</i>	Arsitek	Pengawas
37	Urbanhire	PANCA HARAPAN	Desain Interior	Design	Arsitek
38	Urbanhire	HARAPAN ABADI	Estimator	<i>Engineer</i>	<i>Engineer</i>
39	Urbanhire	CATURGRIYA NARADIPA	<i>Project Officer</i>	<i>Engineer</i>	Arsitek
40	Urbanhire	BUKIT AGUNG SENTOSA	<i>Staff Architect</i>	Arsitek	Arsitek
41	Urbanhire	MAGNOLIA ADI SENTOSA	Junior Arsitek	Arsitek	Arsitek
42	Urbanhire	NUSACIPTA INDONESIA	Drafter	Drafter	Arsitek

No.	Ads Source	Company Name	Position Name	General Code Position Name	Spesific Position Name
43	Urbanhire	ROYAL ANUGERAH FAMELINDO	Architect	Arsitek	Arsitek

Berdasarkan analisis posisi kerja pekerjaan yang dibutuhkan ditemukan empat posisi generik. Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat bahwa posisi sebagai arsitek yang paling banyak dibutuhkan (17%), kemudian kedua posisi yang dibutuhkan adalah sebagai *designer* (13%), *engineer* menempati posisi ketiga dengan 10%, dan yang terakhir dibutuhkan adalah posisi sebagai *visualizer*.

2.2 Kebutuhan Hard Skills

Untuk setiap posisi pekerjaan yang dibutuhkan ada kemampuan yang perlu dimiliki. Dari segi *hard skills* secara umum ada satu jenis *hard skills* yang dibutuhkan, yaitu kemampuan melakukan perancangan (**Tabel 4.**). Untuk mampu melakukan perancangan yang baik ada beberapa kemampuan yang dibutuhkan.

Tabel 4. Kemampuan hard skills

No.	General Position Name	Specific Position name	Skills	General Skill Name	Specific Skill Name
1	Engineer	Arsitek	AutoCAD; English	Design	Bahasa Inggris; Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur
2	Visualizier	Design	Sketch Up; 3D Max; Vray; AutoCAD	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur
3	Engineer	Software Engineer	AutoCAD 2D + 3D; 3D Max; Vray; Sketch Up; Adobe Photoshop; Corel Draw; Ms. Office	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur; Manajemen Proyek
4	Arsitek	Arsitek	Interior; Sipil	Design	Perancangan Ruang Dalam; Mekanika Teknik; Teknologi Bahan
5	Engineer	Arsitek	AutoCad; Adobe Photoshop	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur
6	Arsitek	Planner	AutoCad; 3D Max; Sketch Up; Ms. Office	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur; Manajemen Proyek
7	Engineer	Engineer	AutoCad; Corel Draw; Adobe Photoshop; Microsoft	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur
8	Engineer	Engineer	Supply Chain; AutoCad; Microsoft Project	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur; Manajemen Proyek

No.	General Position Name	Specific Position name	Skills	General Skill Name	Specific Skill Name
9	Telemarketing	Arsitek	Digital Marketing; Sosial Media Marketing	Design	
10	Design	Design	AutoCAD 2D + 3D; 3D Max; Vray; Sketch Up; Archicad	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur; Komputasi Design; Perancangan Ruang Dalam
11	Arsitek	Drafter	AutoCad; 3D Max; Sketch Up	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur
12	Arsitek	Arsitek	AutoCAD 2D + 3D; 3D Max; Vray; Sketch Up; Adobe Photoshop; Corel Draw; Ms. Office; Archicad; LUMION; Cinema4D	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur; Komputasi Design; Manajemen Proyek
13	Arsitek	Arsitek	Sketch Up; 3D Max; Vray; AutoCAD; Adobe Photoshop; Archicad	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur; Komputasi Design
14	Arsitek	Drafter	Sketch Up; 3D Max; AutoCAD; Adobe Photoshop; Ms. Office	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur; Manajemen Proyek
15	Arsitek	Arsitek	3D Max	Design	Design Planning
16	Arsitek	Arsitek	-	Design	Studio Perancangan Arsitektur
17	Arsitek	Arsitek	Sketch Up; 3DMax; AutoCAD; Ms. Project; Drafter; Sipil	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur; Mekanika Teknik; Teknologi Bahan
18	Arsitek	Engineer	-	Design	Konstruksi Bangunan
19	Arsitek	Pengawas	-	Design	Konstruksi Bangunan
20	Arsitek	Drafter	AutoCad; Sketch Up; 3d Max	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur
21	Engineer	Arsitek	AutoCad; Program Design; RAB	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur; Manajemen Proyek; Komputasi Design
22	Design	Design	AutoCad; 3D Max; Vray	Design	Perancangan Ruang Dalam; Aplikasi Komputer Dalam

<i>No.</i>	<i>General Position Name</i>	<i>Specific Position name</i>	<i>Skills</i>	<i>General Skill Name</i>	<i>Specific Skill Name</i>
					Arsitektur
23	Engineer	Design Project	RAB	Design	Manajemen Proyek
24	Design	Arsitek	AutoCAD 3D; 3D Max; Vray; Sketch Up; Adobe Photoshop; Corel Draw; Visualizer; Adobe Illustrator	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur; Komputasi Design; Studio Perancangan Arsitektur
25	Arsitek	Arsitek	AutoCad/ Revit; Sketch Up	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur
26	Design	Design	Program Design	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur; Komputasi Design; Fisika Bangunan
27	Design	Design	AutoCad; 3D Max	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur; Perancangan Ruang Dalam
28	Engineer	Arsitek	AutoCad 2D + 3D	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur
29	Design	Design	AutoCad; 3D Max; Sketch Up	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur; Perancangan Ruang Dalam
30	Design	Design	AutoCad; Sketch Up; 3d Max; Vray; Adobe Photoshop	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur; Perancangan Ruang Dalam
31	Design	Design	AutoCad; 3D Max	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur; Perancangan Ruang Dalam
32	Design	Design	Adobe Illustrator; Adobe Photoshop; 3D Max	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur
33	Design	Arsitek	AutoCad; Sketch Up; Adobe Photoshop; Ms. Office; 3D Max; Vray	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur; Manajemen Proyek

No.	General Position Name	Specific Position name	Skills	General Skill Name	Specific Skill Name
34	Design	Arsitek	AutoCad; Sketch Up	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur; Perancangan Ruang Dalam
35	Design	Software Engineer	Material Bangunan	Design	Teknologi Bahan
36	Arsitek	Pengawas	-	Design	Mekanika Teknik; Teknologi Bahan; Studio Perancangan Arsitektur; Konstruksi Bangunan
37	Design	Arsitek	Sketch Up 3D; AutoCad 2D + 3D	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur; Perancangan Ruang Dalam
38	Engineer	Engineer	Ms. Office; AutoCad	Design	Manajemen Proyek; Aplikasi Komputer dalam Arsitektur
39	Engineer	Arsitek	Ms. Office; AutoCad 2D	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur; Manajemen Proyek
40	Arsitek	Arsitek	AutoCad; Sketch Up; 3d Max; Vray; Adobe Photoshop; RAB; Ms. Office; RAB	Design	Manajemen Proyek; Aplikasi Komputer dalam Arsitektur
41	Arsitek	Arsitek	AutoCad; Sketch Up; 3d Max; Vray; Ms. Office	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur; Manajemen Proyek
42	Drafter	Arsitek	English; AutoCad 2D + 3D	Design	Bahasa Inggris; Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur
43	Arsitek	Arsitek	AutoCad; Sketch Up; Adobe Photoshop; Corel Draw; 3D Max; Vray	Design	Aplikasi Komputer Dalam Arsitektur

Berdasarkan tabel tersebut terdapat beberapa kemampuan yang dibutuhkan dalam pasar kerja. Pertama kemampuan penggunaan aplikasi komputer dalam arsitektur. Penggunaan aplikasi ini berkaitan dengan penggunaan *software's* desain seperti AutoCAD, Sketch-Up, dan lain-lain. Kedua kemampuan untuk melakukan pengelolaan terhadap proyek. Kemampuan pengelolaan proyek lebih ditekankan pada Rencana Anggaran dan Bangunan (RAB). Penggunaan *software's* dan pengerjaan RAB sangat dibutuhkan dalam pasar kerja saat ini, karena kemampuan teknologi yang semakin maju membuat kualifikasi yang dibutuhkan tinggi.

2.3 Kebutuhan Soft Skills

Tabel 5 menunjukkan kebutuhan *soft skills* untuk posisi pekerjaan program studi Arsitektur. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa *soft skills interpersonal skill* yang paling banyak dibutuhkan oleh perusahaan (27,54%). *Teamwork ability* merupakan *soft skill* kedua yang paling banyak dibutuhkan oleh perusahaan. Jika dilihat ada 25 *soft skills* yang dibutuhkan untuk program studi Arsitektur. Walaupun ada beberapa *soft skills* yang jika dilihat kecil persentasenya, tetapi terlihat semua *soft skills* tersebut sama pentingnya. Sebagai contoh *soft skill hardwork*, kebutuhan *soft skill* ini sangat kecil yaitu hanya sekitar 0.72 %.

Tabel 5. Kemampuan *soft skills*

No	General Soft Skill	Jumlah	Persentase	No	General Soft Skill	Jumlah	Persentase
1	Interpersonal skill	38	27.54%	13	Analytical skill	5	3.62%
2	Teamwork ability	18	13.04%	14	Self-motivated	2	1.45%
3	Work with target	8	5.80%	15	Konsep	1	0.72%
4	Field supervisor	2	1.45%	16	Mobile	2	1.45%
5	Planning ability	1	0.72%	17	Time management skill	1	0.72%
6	Organization	1	0.72%	18	Kualifikasi	1	0.72%
7	Detail Oriented	1	0.72%	19	Hard worker	1	0.72%
8	Challenge	4	2.90%	20	Creative & imagination	1	0.72%
9	Communication skill	7	5.07%	21	Problem solving ability	2	1.45%
10	Creative	8	5.80%	22	Work with target	8	5.80%
11	Work under pressure	10	7.25%	23	Integrity	1	0.72%
12	Learn new things	13	9.42%	24	Problem solving ability	2	1.45%
Total						138	100.00%

3. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa profil/posisi pekerjaan yang dibutuhkan pada pasar kerja dalam bidang arsitektur yaitu *engineer*, *visualizer*, arsitek, *telemarketing*, dan *designer*. Sedangkan kemampuan berdasarkan *hard skills* yaitu penggunaan aplikasi gambar dan pengerjaan RAB. Kebutuhan pasar kerja dilihat dari kemampuan *soft skills* yang paling menonjol adalah karakter pribadi dan bekerja dalam tim. Terdapat beberapa temuan dari hasil analisis yaitu lulusan arsitektur diharapkan memiliki

pengetahuan khusus yang berkaitan dan industri, maka pengetahuan tersebut harus dikembangkan melalui Pendidikan formal. Temuan yang berikutnya persyaratan utama untuk lulusan arsitektur harus dapat menggunakan aplikasi *design* pada komputer. Karena dalam tabulasi keterampilan dalam menggunakan aplikasi AutoCAD banyak dicari oleh perusahaan-perusahaan. Semua kemampuan dan posisi tersebut dibutuhkan dalam pasar kerja pada bidang arsitektur karena berkembang pesatnya kemajuan teknologi yang mengharuskan semua pengerjaan menggunakan aplikasi *software*.

PUSTAKA

- Ayalew, Y. Mbero, Z. A. Nkgau, T. Z. Motlogelwa, P. Masizana-Katongo, A. 2011. Computing knowledge and Skills Demand: A Content Analysis of Job Adverts in Botswana. (*IJACSA*) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 2, No.1.
- Kennan, M. A. Ceces-Kecmanovic, D. Willard, Patricia. & Wilson, C. S. 2009. Is Knowledge And Skills Sought By Employers: A Content Analysis Of Australian Is Early Career Online Job Advertisements. *Australasian Journal of Information System*, Volume 15 No. 2.
- Martono, Nanang. 2010. *Karakteristik Lapangan Pekerjaan: Analisis Isi Iklan Lowongan Pekerjaan di Media Surat Kabar*. *Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan*, Volume 16 No. 6.
- Mushon, Ali. Wahyuni, Daru. Supriyanti. & Mulyani, Endang. 2012. Analisis Relevansi Perguruan Tinggi Dengan Dunia Kerja. *Jurnal Economia*, Volume 8 No. 1.
- Sailah, Illah. Dkk. 2014. *Buku Kurikulum Pendidikan Tinggi (K-DIKTI)*. Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan, Jakarta.
- Salleh, Rohani. et al. 2013. *Profiling Industry-Relevant Competencies of Graduate Architect through Online Job Advertisements*. *International Business Research*, Vol. 6, No. 11.

VISUALISASI DATA MEDIA SOSIAL UNTUK MEMBANGUN PETA PENGUNAAN RUANG KOTA

Sushardjanti Felasari¹, M. Sani Roychansyah²

Prodi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jl. Babarsari 44 Yogyakarta 55281
Telp. (274) 487711

² Departemen Teknik Arsitektur dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
Jl. Grafika No.2 Yogyakarta 55281
Telp. (0274) 580092

E-mail: sfelasari@staff.uajy.ac.id, saniroy@ugm.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan Internet dan teknologi komunikasi telah mempengaruhi bagaimana manusia berkomunikasi satu dengan lainnya dan dalam membagikan pengalaman dan cerita kesehariannya melalui jejaring sosial. Makalah ini memaparkan studi awal bagaimana data dari media sosial seperti Facebook dan Twitter dapat dimanfaatkan untuk membaca perilaku keseharian masyarakat ketika bergerak dalam ruang kota dan menyajikannya dalam berbagai macam peta. Data diambil pada tahun 2016 dengan mengambil sampel kegiatan wisata dengan lokus Kawasan Tugu dan Malioboro di kota Yogyakarta. Hasil penelitian menunjukkan data media sosial berpotensi besar untuk digali menjadi berbagai informasi yang berguna bagi pembangunan kota.

Kata Kunci: visualisasi, data media sosial, peta, ruang kota

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan Internet dan teknologi informasi telah memudahkan manusia dalam berkomunikasi secara virtual satu dengan lainnya dan berbagi pengalaman dan cerita keseharian saat bergerak dalam ruang kota melalui perangkat seluler-nya di mana pun dan kapan pun. Evolusi komunikasi itu juga telah membantu bagaimana menelusuri sebuah perdebatan tentang pengaruh lokasi geografis pada struktur jejaring sosial (Cairncross and Cairncross, 2001; Goldenberg and Levy, 2009). Media sosial seperti Twitter, Facebook, Instagram dan sebagainya merupakan aplikasi jejaring sosial yang banyak digunakan untuk berbagi cerita keseharian itu. Melalui status yang diposting, gambar, atau video yang diunggah, keberadaan seseorang di sebuah lokasi ruang kota dapat dibaca oleh pengguna media sosial.

Menurut Global Digital Report tahun 2018¹ yang dirilis oleh 'We Are Social' kurang lebih sekitar 132.7 juta penduduk atau sekitar 50% dari total populasi di Indonesia telah memiliki akses Internet. Dari total populasi penduduk Indonesia, kurang lebih sebesar 49% (130 juta) merupakan pengguna media sosial dan hampir 92% nya mengakses media sosial dengan perangkat seluler. Rata-rata sekitar 3.5 jam perhari pengguna menghabiskan waktunya untuk mengakses media sosial seperti Facebook (41%), Instagram (38%) dan Twitter (27%) merupakan platform *social network* terbanyak yang digunakan di Indonesia. Tak heran media jejaring sosial merupakan salah satu fenomena konektivitas yang pertumbuhannya sangat cepat dirasakan beberapa tahun terakhir. Perannya dirasakan makin besar dalam menghasilkan informasi yang sifatnya bottom-up.

Media jejaring sosial memiliki platform yang mudah digunakan dan memungkinkan pengguna untuk menambahkan konten/isi-nya. Melalui media jejaring sosial, platform media sosial juga memungkinkan penggunaannya untuk membuat, berbagi, bertukar konten dan sekaligus bekerjasama dan berpartisipasi dalam berbagai komunitas virtual (Severo, 2015). Data-data yang diunggah dalam jejaring sosial itu misalnya dapat menginformasikan jejak-jejak spasial dari perilaku keseharian penghuni maupun pengunjung ruang kota. Informasi jejak-jejak spasial yang termuat dalam laman media jejaring sosial itu tidak hanya terbatas dalam bentuk teks, namun juga informasi audio dan visual seperti foto dan video. Bahkan kadang lengkap dengan lokasi geografisnya (geo-location) dimana informasi itu diunggah. Dengan demikian memahami ruang kota yang memiliki lokasi geografis dapat dilakukan juga melalui media sosial.

Paper ini mendiskusikan bagaimana data dari media sosial dapat divisualisasikan untuk membangun peta penggunaan ruang kota. Studi ini mengambil kasus data sosial media terkait aktivitas wisata dengan lokus Kawasan Tugu Pal Putih dan kawasan Malioboro di kota Yogyakarta.

1.2 Permasalahan Penelitian

Paper ini mencoba mendiskusikan bagaimana peta penggunaan ruang kota dapat dibangun melalui visualisasi data dari media sosial, dalam hal ini Facebook dan Twitter dengan obyek pengamatan kawasan Tugu Pal Putih dan kawasan Malioboro. Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya terkait bagaimana Tugu Pal Putih dimaknai sebagai landmark, opening space dan signage oleh masyarakat lokal dan wisatawan yang berkunjung ke kota Yogyakarta dan dengan melihat keterkaitan maknanya dengan macam kegiatan dan waktu berlangsungnya kegiatan di Kawasan tersebut. Dari hasil penelitian tersebut, paper ini mencoba memaparkan contoh-contoh bagaimana data ini dapat divisualisasikan sebagai peta yang menunjukkan penggunaan ruang kota.

1.3 Media Sosial dan Ruang Kota

Facebook yang diluncurkan pada tahun 2004 merupakan media sosial dan aplikasi jejaring sosial yang memiliki pengguna aktif setiap bulannya. Di bulan Januari 2018 misalnya terdapat lebih dari 2,2 milyar pengguna Facebook. Keberadaan media sosial ini sedikit banyak telah mempengaruhi kehidupan sosial dan aktivitas manusia dalam berbagai cara seperti memungkinkan orang saat menggunakan komputer atau perangkat seluler tetap terhubung dengan teman, saudara, atau orang lain dimanapun dan kapanpun. Munculnya facebook juga telah banyak menghubungkan kembali anggota keluarga atau teman yang hilang, memberikan ruang tempat bertukar pikiran, memberikan informasi tentang perkembangan lokal dan global, membantu terbentuknya grup-grup dengan ketertarikan yang sama, dan sebagainya.

Sementara itu Twitter merupakan media sosial dan aplikasi jejaring sosial yang pesat perkembangannya sejak muncul di tahun 2006 dan saat ini merupakan salah satu *social networking* yang paling luas penggunaannya di seluruh dunia termasuk di Indonesia. Twitter membatasi penggunaannya untuk mengirimkan pesan dengan maksimal sebanyak 140 karakter. *Data set* Twitter memiliki 16 fitur yang dapat diamati aliran dan isi data yang terkandung di dalamnya yaitu : (1) username, (2) Tweet, (3) Time, (4) Tweet type, (5) Retweeted by, (6) Number of retweets, (7) Hashtags, (8) Mentions, (9) Name, (10) Location, (11) Web, (12) Bio, (13) Number of tweets, (14) Number of followers, (15) Number of following, dan (16) Coordinates.

Teknologi komunikasi menggunakan perangkat seluler dan *mobile* membantu terciptanya keterikatan dengan sebuah lokasi atau tempat di dalam ruang kota yaitu dengan menciptakan ikatan baru terhadap lokasi tersebut (Ozkul, 2015). Lokasi merupakan aspek sebuah tempat (place) dan merupakan atribut penting dari berbagai aktivitas keseharian. Penggunaan informasi lokasi atau biasa disebut media lokatif memungkinkan pemakai perangkat teknologi komunikasi seluler tersebut untuk menciptakan dan membagi pengalaman mereka pada sebuah lokasi tertentu (Ozkul and Gauntlett, 2014) dan untuk membawa '*sense of place*' yang berbeda-beda ke dalam sebuah diskusi (Humphreys, 2007) hingga menciptakan bentuk ikatan yang baru terhadap suatu tempat. Media lokatif juga telah mengubah fokus dari riset media seluler atau *mobile* ke analisis aplikasi berbasis lokasi dan penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari.

Dengan demikian pengguna yang terkoneksi dengan pengguna lainnya melalui jejaring sosial dapat mengalami perasaan baru tentang suatu tempat tertentu berdasar lokasi temannya. Mengambil dan berbagi informasi terkait lokasi dapat mengkonfigurasi kembali pemahaman tentang sebuah tempat/lokasi. Ketika pengguna media seluler dan lokatif melakukan check-in di sebuah tempat, umumnya pengguna ini tidak berpikir tentang lokasi geografisnya (garis bujur dan garis lintang tempat-tempat tersebut), tetapi justru berpikir hal yang lain misalnya tentang nilai individu dan sosial kemasyarakatan yang ada di daerah tersebut, materi, dan budaya dari lokasi tersebut, dan sebagainya.

Salah satu tantangan penelitian berbasis media sosial adalah soal pengambilan datanya. Data Twitter dapat diambil melalui streaming API (spritzer, garden-hose, atau fire-hose) atau melalui *software package* yang digunakan seperti misalnya software kualitatif NVivo. Ada 3 data interface dalam Twitter yang dapat digunakan untuk pengambilan data yaitu streaming API (push based-data secara konstan mengalir dari URL yang dituju dan hal ini sepenuhnya tergantung pada peneliti untuk mengembangkan atau menggunakan tool), rest API atau search API. Dalam hal analisis data Twitter, pengambilan sampel yang dapat menjawab pertanyaan penelitian dan analisis kontennya menjadi hal yang perlu diperhatikan. Terbatasnya akses ke Twitter API dapat menyebabkan sulitnya pengambilan sampel yang representatif untuk seluruh pengguna Twitter. Salah satu cara pengambilan data berbasis konten dapat dilakukan dengan menseleksi tweets yang mengandung hashtag/tagar (#), kata-kata, atau frasa yang khusus sesuai dengan pertanyaan penelitian yang ingin dijawab. Alternatif lainnya adalah mengambil sampel data tweets dari akun spesifik, namun Tweeter membatasi hal ini.

1.4 Visualisasi Ruang Kota

Visualisasi sebagai aktivitas yang berbeda dalam ilmu komputer telah muncul pada pertengahan tahun 1980-an. Saat ini visualisasi didefinisikan jauh lebih luas karena berkaitan dengan seluruh susunan citra. Visualisasi digunakan untuk maksud yang berbeda-beda namun intinya membantu dalam memahami berbagai informasi dan mengatasi keterbatasan memori kerja sehingga dapat menghemat waktu kerja. Dengan memvisualisasikan informasi berarti membuat semacam peta informasi yang dapat dieksplorasi oleh mata yang

melihatnya. Paradigma visualisasi lebih lanjut melibatkan cara model direpresentasikan apakah model simbolik, ikonik, atau analog.

Perkembangan perangkat keras dan perangkat lunak komputer telah meningkatkan teknik visualisasi grafis data dan prediksinya, dimana data berkembang sangat besar skalanya baik tipe, ukuran, penyimpanannya ('cloud'), maupun penggaliannya ('mining') karena terintegrasi dengan sistem kota dan data ini dicapture secara *streaming in real time* (Batty et al., 2013). Hal yang penting juga adalah perubahan dari data yang statis dan cross sectional menjadi data yang memiliki dimensi waktu. Secara umum dapat dikatakan perkembangan data spatial dan media sosial dewasa ini menjadi tantangan tersendiri karena trend dan inovasi yang saling bersinggungan menjadikan lebih sulit untuk memahami data ini. Namun secara virtual setiap aspek dalam masyarakat saat ini sudah sangat mungkin untuk direpresentasikan secara digital dan dapat divisualkan dengan berbagai cara (Batty et al., 2013). Visualisasi dapat dimulai dari memvisualisasikan data spatial tradisional berupa peta statis dimana datanya tidak real time baik secara 2D atau 3D. Selanjutnya dapat dikembangkan dari data *real time* yang juga *distreaming* secara *real time* namun divisualisasikan setelah event berlangsung. Beberapa data ini termasuk apa yang disebut '*big data*' yang membutuhkan metoda '*mining*', '*sorting*' dan '*visualisation*' yang berbeda. Metoda tersebut mulai mengenal apa yang disebut '*crowd sourcing*' data yang terhubung dengan peta.

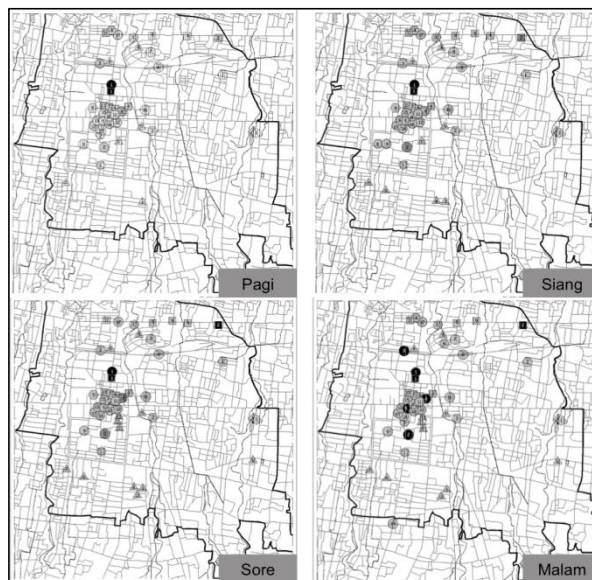
2. VISUALISASI DATA MEDIA SOSIAL UNTUK MEMBANGUN PETA PENGGUNAAN RUANG KOTA : BERBAGAI CONTOH KASUS

Penelitian yang dilakukan sebelumnya telah mengambil data Facebook dan Twitter dari kota Yogyakarta pada tahun 2016. Sebagian pengamatan difokuskan pada beberapa obyek yang ada di kawasan Tugu Pal Putih dan kawasan Malioboro. Aktivitas dominan yang diamati terkait dengan kegiatan wisata. Pengambilan data dilakukan 2 kali. *Dataset* pertama *dicapture* dari laman Facebook dan Twitter dengan menggunakan aplikasi NVivo dengan lokus kawasan Tugu Pal Putih. Analisis kualitatif dilakukan dengan program aplikasi NVivo melalui *coding*, *nodes*, and *query* untuk melihat macam aktivitas yang terjadi di kawasan Tugu Pal Putih dan makna Tugu Pal Putih. Untuk memori kolektif terkait makna Tugu Pal Putih beberapa tagar yang digunakan yaitu #landmark, #tetenger, #open space, #signage, dan #tuguYogyakarta.

Sementara itu *dataset* kedua *dicapture* dari Twitter dengan bantuan algoritma dengan menggunakan hashtag seperti #WisataKotaJogja, #WisataJogja, #TripJogja, #KotaJogja, #JelajahJogja, #ExploreJogja, #JogjaSpecial, #JogjaTour, #JogjaExplore, #JogjaHoliday, #JogjaKuliner, dan #JogjaMakan. Data ini kemudian difilter dengan metoda 'stopword' untuk menghilangkan karakter HTML, hashtag, ikon emosi, dan sebagainya agar dapat dianalisis. *Data set* kedua ini juga melibatkan gambar/foto yang ditampilkan pada status Twitter.

2.1 Peta Pemanfaatan Ruang Kota Berdasar Waktu.

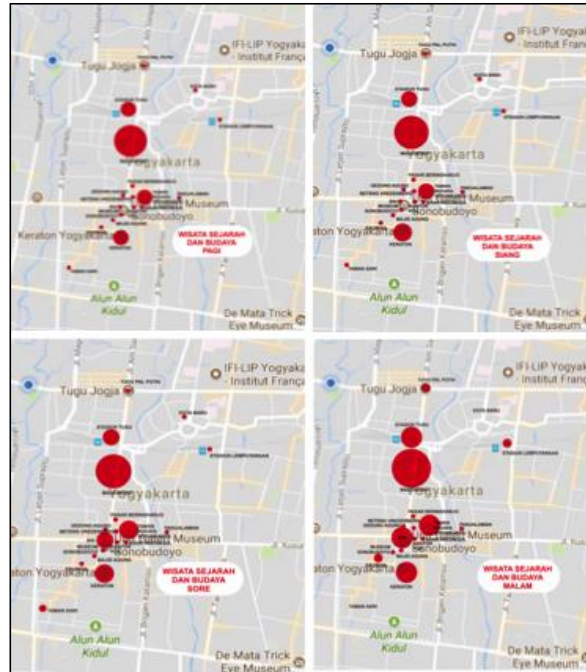
Gambar 1 menunjukkan peta penggunaan ruang kota Yogyakarta di pagi (06.01-10.00), siang (10.01-14.00), sore (14.01-18.00) dan malam hari (18.01-06.00) berdasar kegiatan wisata yang diklasifikasikan menjadi wisata sejarah budaya, wisata belanja, wisata kuliner, wisata alam, dan wisata sejarah (Setyabudi, 2017). Peta dibangun dengan menggunakan *dataset* 2. Penggunaan ruang kota berdasar waktu dibaca dari status dan juga gambar atau foto yang diunggah oleh user terkait kegiatan wisata.



Gambar 1. Peta aktivitas wisata di kota Yogyakarta pada pagi, siang, sore dan malam hari

Gambar 1 juga menunjukkan bahwa kegiatan wisata terpusat di kawasan Malioboro. Intensitas jumlah wisatawan yang berkunjung meningkat mengikuti waktu. Jumlah pengunjung dihitung berdasarkan jumlah status terkait lokasi tertentu yang diunggah dengan pengelompokkan waktu yang sudah ditentukan sebelumnya. Malam hari tampaknya menjadi waktu yang populer untuk melakukan kegiatan wisata. Hal ini ditunjukkan dengan makin pekat/gelapnya warna titik yang ada di peta.

Sementara itu Gambar 2 menunjukkan peta yang lebih detil yang dibangun dari data Twitter terkait khususnya kegiatan wisata budaya di kawasan Malioboro dari ujung utara yaitu Tugu Pal Putih sampai dengan ujung selatan yaitu Alun Alun Selatan.



Gambar 2. Peta pemanfaatan ruang kota untuk kegiatan wisata budaya pada pagi (kiri-atas) , siang (kanan-atas), sore (kiri-bawah) dan malam hari (kanan-bawah)

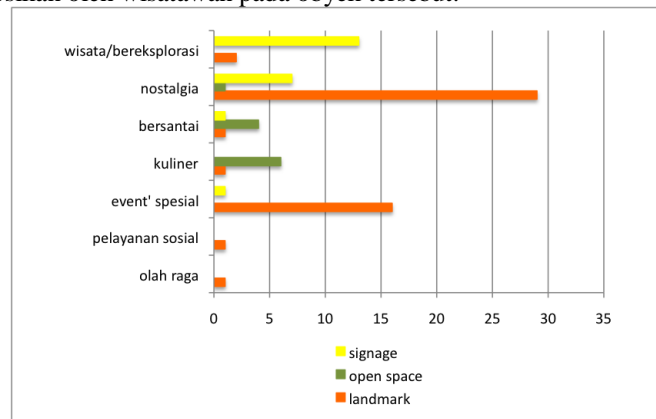
Peta menunjukkan bahwa kawasan Tugu – Malioboro - Alun-Alun Kidul merupakan kawasan yang padat untuk kegiatan wisata khususnya wisata budaya dari pagi sampai malam hari. Masing-masing lingkaran menunjukkan lokasi/obyek wisata budaya antara lain Tugu Pal Putih, Stasiun Tugu, Koridor Malioboro, Taman Budaya, Benteng Vredeburg, Area 0 Km, dan sebagainya. Dimensi lingkaran pada peta menunjukkan jumlah orang yang berkegiatan di obyek tersebut. Peta menunjukkan adanya peningkatan jumlah orang di malam hari pada lokasi tertentu yaitu pada Area Nol Km dan di ujung utara Jalan Malioboro yaitu di titik sekitar Stasiun Tugu. Lokasi obyek kegiatan wisata yang tercantum pada peta ditentukan berdasarkan lokasi geografis obyeknya, namun tidak berdasarkan lokasi geografis saat status diupload. Hal ini disebabkan karena sebagian besar status pada Twitter tidak mencantumkan posisi *geo-location* saat status diupload.

Masih menurut data media sosial yang *dicapture* dari laman Facebook dan Twitter (*dataset 1*) pada tahun 2016, penggunaan ruang kota khususnya di Kawasan Tugu Pal Putih dengan macam aktivitasnya dapat ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Macam aktivitas di kawasan Tugu Pal Putih dan waktunya

Macam aktivitas	Waktu aktivitas di Kawasan Tugu Pal Putih			
	pagi	siang	sore	malam
Olah raga	6	0	3	2
Kegiatan pelayanan sosial	1	0	0	4
Special event	5	0	2	21
Kuliner	4	2	4	8
Bersantai	4	4	4	21
Menikmati kenangan/bernostalgia	15	3	12	42
Wisata/bereksplorasi	3	2	2	23

Tabel 1 menunjukkan bahwa semakin malam, semakin tinggi/semakin padat penggunaan ruang kota di kawasan Tugu untuk berkegiatan, khususnya kegiatan bernostalgia. Sementara kegiatan lainnya seperti menikmati special event, bersantai dan berwisata eksplorasi termasuk kegiatan yang banyak dilakukan juga di Kawasan Tugu Pal Putih juga. Sementara itu informasi lain yang didapatkan dari data media sosial namun belum divisualisasikan dalam peta adalah data yang ditunjukkan oleh Gambar 3 yang memperlihatkan memori kolektif Tugu Pal Putih dan makna yang dipersepsikan oleh wisatawan pada obyek tersebut.

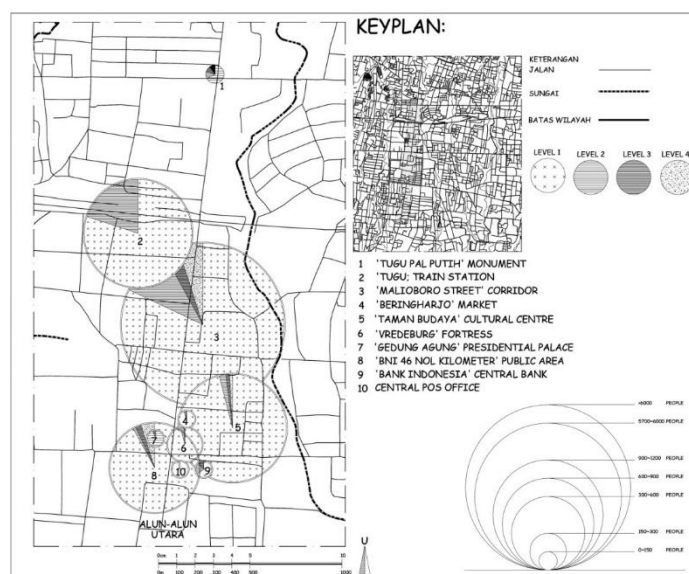


Gambar 3. Memori kolektif Tugu Pal Putih dan aktivitasnya

Sebagian besar wisatawan memaknai Tugu Pal Putih sebagai sebuah landmark. Peran Tugu Pal Putih sebagai landmark terlihat dominan saat wisatawan terlibat dalam special event atau saat mereka bernostalgia di Kawasan tersebut. Sementara itu peran Tugu Pal Putih sebagai signage terlihat pada aktivitas wisata/eksplorasi dan kegiatan bernostalgia. Sedangkan Tugu Pal Putih dimaknai sebagai open space saat wisatawan berwisata kuliner dan bersantai.

2.2 Peta Place Attachment Level Obyek Wisata di Kawasan Tugu dan Malioboro

Gambar 4 menunjukkan *level of place attachment* dari 10 obyek wisata yang ada di Kawasan Tugu dan Malioboro yaitu Tugu Pal Putih, Stasiun Tugu, Jalan Malioboro, Pasar Beringharjo, Taman Budaya, Benteng Vredeburg, Gedung Agung, Bank BNI/Kawasan 0 Km, Bank Indonesia, dan Kantor Pos. *Level of place attachment* ini menunjukkan seberapa besar/seberapa dalam ikatan emosi yang terbentuk antara wisatawan dengan obyek wisata yang dikunjungi. Dengan mengetahui tingkat *place attachment* ini, obyek wisata dapat ditingkatkan kualitasnya.



Gambar 4. Peta Place Attachment Level Obyek Wisata di Kawasan Tugu dan Malioboro

3. KESIMPULAN

Data media sosial sangat berpotensi untuk membangun peta penggunaan ruang kota. Beberapa teknik visualisasi dapat diujicobakan untuk mempresentasikan data dan informasi yang berguna bagi pengembangan ruang kota dan wilayahnya. Pengambilan data menggunakan *software package* seperti NVivo memiliki keterbatasan seperti data yang diambil tidak semuanya dapat diambil sebagai *dataset* namun hanya sebagai file pdf sehingga dibutuhkan waktu yang cukup lama untuk dapat mengekstrak dan menganalisis datanya. Sementara itu dengan algoritma pun beberapa data juga tersedia secara terbatas oleh Twitter termasuk ketersediaan *geo-location* dari status/data yang diunggah. Besarnya data yang diperoleh memerlukan ketrampilan untuk dapat mengklasifikasikan data sesuai konteks yang dibutuhkan dan memprosesnya sehingga dapat menyampaikan informasi terkait kota yang dapat dipahami.

Ke depan penelitian perlu dikembangkan teknik untuk mempresentasikan data media sosial dalam bentuk peta interaktif yang menunjukkan dimensi waktu serta pergerakan manusia dan aktivitas dalam waktu 24 jam yang dapat ditunjukkan secara dinamis.

4. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Herybert Setyabudi, Andjar Tito, dan Nimas Sekarlangit atas bantuannya dalam pengambilan beberapa data.

PUSTAKA

- Batty, M., Gray, S., Hudson-Smith, A., Milton, R.W., O'Brien, O., Roumpani, F., 2013. Visualising spatial and social media [WWW Document]. (CASA Working Paper Series 191). UCL Centre for Advanced Spatial Analysis: London, UK. (2013). URL <http://www.bartlett.ucl.ac.uk/casa/pdf/paper190.pdf> (accessed 4.7.15).
- Cairncross, F., Cairncross, F.C., 2001. The Death of Distance: How the Communications Revolution Is Changing our Lives, Revised Edition edition. ed. Harvard Business Review Press, Boston.
- Felasari, S., Roychansyah, M.S., 2016. Capability of Social Media in Structuring Collective Memory for Future Urban Design Project. Presented at the 11th International Symposium on Architectural Interchanges in Asia (ISAIA 2016), Sendai, Japan.
- Goldenberg, J., Levy, M., 2009. Distance Is Not Dead: Social Interaction and Geographical Distance in the Internet Era. arXiv:0906.3202 [physics].
- Humphreys, L., 2007. Mobile social networks and social practice: A case study of Dodgeball. *Journal of Computer-Mediated Communication* 13, 341–360.
- Ozkul, D., 2015. Location as a sense of place, in: *Mobility and Locative Media*. Routledge, New York, pp. 101–116.
- Ozkul, D., Gauntlett, D., 2014. Locative media in the city: drawing maps and telling stories, in: *The Mobile Story: Narrative Practices with Locative Technologies*. Routledge, New York, NY, pp. 113–127.
- Setyabudi, H., 2017. Analisis Collective Memory dari Media Sosial untuk Meningkatkan Level of Place Attachment pada Tempat Wisata di Kota Yogyakarta. Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.
- Severo, M., 2015. Social Media as New Arenas for Intangible Heritage, in: Mesquita, A., Peres, P. (Eds.), *Proceedings of the 2nd European Conference on Social Media 2015: ECSM 2015*. Academic Conferences Limited.

KEBERLANJUTAN DAN PERUBAHAN” ORIENTASI PERMUKIMAN KAJIAN FENOMENA PERMUKIMAN AIRMATA DI BANTARAN KALI KACA KOTA KUPANG

Reginaldo Christophori Lake¹, Robertus M. Rayawulan², Donatus Arakian³

Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandira

E-mail: egilake@yahoo.com

ABSTRAK

Permukiman Airmata adalah permukiman yang berada di bantaran sungai Kali Kaca dirancang dan dibangun para pendiri permukiman berdasarkan keadaan lokasi, perkembangan kehidupan masyarakat setempat, kearifan lokal dan sejarah penyebaran agama Islam di kota Kupang. Permukiman Airmata tumbuh pesat sejak dijadikan kampung ziarah rohani bagi agama Islam di NTT. Karakter permukiman Airmata sangat khas sehingga menarik untuk dikaji mengenai keberlanjutan budaya bermukim di bantaran sungai Kali Kaca dan perubahannya yang diakibatkan oleh meningkatnya jumlah penduduk dan pertumbuhan kota. Permasalahan penelitian dalam tulisan ini adalah bagaimana kelestarian dan perubahan (continue and change) permukiman Airmata di bantaran sungai Kali Kaca dan bagaimana seharusnya konsep keberlangsungan budaya bermukim di bantaran sungai dapat dilestarikan. Observasi lapangan dan kajian pustaka digunakan dalam penelitian ini. Hasil penelitian, terdapat indikasi perubahan fisik, fungsi dan makna dari permukiman Airmata, namun keterkaitan permukiman Airmata dengan sungai Kali Kaca cenderung dipertahankan. Keaslian dan keunikan permukiman Airmata bertahan apabila ditata dengan baik dengan konsekuensi pembenahan kegiatan ekonomi di sungai, penataan ruang permukiman dan sanitasi serta pelestarian ekosistem, sehingga kekhasan permukiman bantaran sungai, yaitu interaksi manusia dengan sungai dapat dilestarikan secara arif, dan kreatif.

Kata Kunci: perubahan orientasi, permukiman airmata, bantaran kali kaca

1. PENDAHULUAN

1.1 Keberlanjutan dan Perubahan Orientasi Permukiman Airmata di Bantaran Sungai Kali Kaca

Permukiman Airmata berada di Kelurahan Airmata, bagian wilayah kota II, kota Kupang. Munculnya keruangan permukiman Airmata secara keseluruhan mengacu pada tatanan fisik sejarah sungai Kali Kaca dan peradaban kota tua, kota Kupang. Perkembangan dan penyebaran agama Islam di kota Kupang merupakan salah satu fenomena pembentukan ruang permukiman Airmata. Keberadaan permukiman Airmata ditandai dengan berdirinya Masjid Al-Baitul Qadim. Usia Masjid Al-Baitul (Masjid pertama dan terata di kota Kupang) adalah 212 tahun, dibangun oleh Kyai Syah'ban bin Sanga Kala pada tahun 1806 bersama umat Kristiani yang ada di sekitar permukiman Airmata kota Kupang. Permukiman Airmata sebelumnya tumbuh secara spontan akibat pengusuran pengikut Kyai Syah'ban bin Sanga Kala oleh orang Belanda dari daerah Oeba (https://id.wikipedia.org/wiki/Masjid_Al-Baitul_Qadim).

Kehidupan sosial budaya permukiman Airmata merupakan salah satu dari 3 kawasan permukiman muslim di kota Kupang, provinsi Nusa Tenggara Timur, dulu merupakan pusat Pemerintahan Kesultanan Solor, sebagian besar terdiri atas suku Sabu, Solor dan suku Arab. Nama Airmata memiliki dua makna; (1) kawasan tersebut merupakan sumber mata air sungai yang membelah kota Kupang; (2) di kawasan tersebut banyak airmata yang tumpah akibat masa penjajahan, sejarah wafat dan dimakamkannya 3 ulama yang ditangkap dan diasingkan Belanda di kawasan permukiman Airmata yakni Kyai Arsyad asal Banten, Dipati Amir Bahrain asal Bangka dan Sultan Dompur asal Bima. Makam ketiga ulama tersebut berada dalam kompleks kuburan Batu Kadera. Masyarakat permukiman Airmata pada umumnya penganut agama Islam yang taat dan hidup dalam suasana agamis, Masjid dan agama memegang peranan penting dalam kehidupan masyarakat, dan pendidikan agama sangat ditekankan pada generasi muda.

Permukiman Airmata berpola linear mengikuti pesisir bantaran sungai kali kaca. Terbentuknya pola linear merupakan pemecahan praktis dari pola penyebaran permukiman yang memiliki kecenderungan berjajar paralel sepanjang tepi sungai. Pembentukan awal permukiman Airmata orientasi rumah-rumah menghadap sungai kali kaca sejak zaman Kesultanan mengikuti aturan penataan kampung kota yang dibentuk oleh Belanda. Zaman itu pembentukan keruangan permukiman Airmata dipengaruhi oleh 2 sistem kekuasaan, yakni Kepemerintahan Raja dan Kepemerintahan Imam (keagamaan). Pembagian daerah pemerintahan tersebut berdasarkan batas wilayah yang ada di permukiman Airmata antara lain: dari RT I-III disebut kampung pagar Sabu, yang mengatur pemerintahan raja. Perkembangan ini ditandai dengan kedatangan bangsa Arab ke permukiman Airmata untuk berdagang dan menyebarkan agama Islam di kota Kupang. Sedangkan wilayah RT IV-VIII disebut kampung

Imam yang mengatur keagamaan. Permukiman Airmata pada awal mula dimulai dari muara kali Dendeng dan berkembang sepanjang bantaran sungai Kali Kaca

Kehidupan penduduk di sekitar sungai Kali Kaca dapat dikatakan sudah cukup maju. Mereka tidak lagi sebagai masyarakat terbelakang yang tidak mengenal kemajuan tetapi sudah merupakan masyarakat majemuk yang mau menerima pengaruh dari luar. Seiring dengan pertumbuhan kota dan meningkatnya jumlah penduduk, permukiman Airmata berkembang tidak terkendali disepanjang sungai yang menggeser budaya bermukim di Airmata dan mengakibatkan perubahan orientasi bermukim dari masyarakat bantaran sungai Kali Kaca.

Menyadari potensi kawasan permukiman Airmata memberi andil yang besar dalam sejarah perkembangan kota Kupang. Sudah selayaknya dimasukkan kedalam kawasan cagar budaya, seperti bunyi Undang-undang Nomor 5 tahun 1992 tentang Benda Cagar Budaya pasal 1 ayat 1 dimana disebutkan bahwa benda yang dilindungi berupa cagar budaya adalah benda buatan manusia atau benda alam, bergerak atau tidak bergerak yang berupa kesatuan atau kelompok, atau bagian-bagiannya atau sisa-sisanya, yang berumur sekurang-kurangnya 50 (limapuluh) tahun, atau mewakili masa gaya yang khas yang dianggap mempunyai nilai penting bagi sejarah, ilmu pengetahuan, dan kebudayaan. Sehingga kawasan ini perlu dipertahankan dan ditata kembali untuk menampilkan kekhasannya sehingga dapat dijadikan sebagai potensi daerah (Indonesia, 1992).

Fenomena permukiman Airmata menarik dicermati, terutama adanya tanda-tanda perubahan dari konsep “permukiman asli” ke konsep “permukiman baru” yang mengadopsi unsur-unsur budaya baru. Permukiman “asli” Airmata ditandai dengan ciri: fungsi sungai kali kaca sebagai bagian dari permukiman (arsitektur) sehingga pola bermukim masyarakat Airmata mengikuti pola bantaran sungai Kali Kaca (sungai Kali Kaca dijadikan pusat orientasi) dan ada pembagian zona masing-masing suku berdasarkan konsep Kepemerintahan.

Tujuan tulisan ini adalah mengupas fenomena kontinuitas dan perubahan (*continuity and change*) pada permukiman Airmata di bantaran sungai Kali Kaca sebagai inspirasi internal permukiman Airmata maupun permukiman lain apabila berusaha mempertahankan konsep penataan permukiman yang khas dan jatidiri permukiman melalui pelestarian konsep budaya bermukim sesuai dengan konteks lokasi. Inspirasi dari permukiman Airmata diharapkan memberi gambaran dan arah pelestarian permukiman bersejarah di kota Kupang provinsi Nusa Tenggara Timur maupun provinsi-provinsi lain di Indonesia.

Rumusan permasalahan penelitian adalah: Bagaimana “*keberlanjutan dan perubahan*” yang terjadi pada permukiman Airmata di bantaran sungai kali kaca?; Bagaimana tindakan atau konsep yang perlu dilakukan untuk mempertahankan keunikan permukiman bersejarah Airmata di bantaran sungai Kali Kaca kota Kupang?. Dari tujuan dan permasalahan tersebut maka sasarannya adalah (1) mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan keterkaitan penghuni permukiman pinggir bantaran sungai dengan sungai/air; (2) mengidentifikasi penyebab pola perubahan kehidupan bantaran sungai akibat berubahnya orientasi bermukim; (3) menyusun kriteria penataan permukiman pinggir bantaran sungai di kota Kupang; (4) merumuskan konsep penataan permukiman pinggir sungai.

Metodologi yang digunakan adalah kajian pustaka didukung catatan lapangan (*logbook*) yang dihasilkan dari proses penelitian berbasis penelusuran tanda-tanda fisik (*physical trace*) (Zeisel, 1987), dan dilengkapi dengan data wawancara verbal secara etnografis (Spradley, 1997) terhimpun dalam *logbook* tahun 2011. Catatan lapangan sebagai data tulisan ini diambil dari tahun 2011 dengan teknik penyebaran kuisioner dan wawancara yang digunakan dalam seminar kajian permukiman kota Kupang berjudul “Karakteristik dan Faktor Keterkaitan Kondisi Permukiman Airmata Sekitar Aliran Kali Kaca” (Lake, 2011). Data fenomena *keberlanjutan dan perubahan* dalam catatan lapangan belum pernah digunakan sebagai bahan tulisan ilmiah dan karena isinya beragam serta detail, maka layak diangkat dan digunakan dalam tulisan ilmiah dengan tema khusus fenomena *keberlanjutan dan perubahan orientasi permukiman bantaran sungai Kali Kaca*.

1.2 Tinjauan Pustaka

Sungai telah memegang peranan yang sangat penting dalam sejarah perkembangan peradaban dan kebudayaan manusia. Sejak ribuan tahun yang lalu telah dikenal adanya suatu perkembangan peradaban manusia pada lembah sungai yang melahirkan kota-kota penting di dunia. Peranan sungai di dalam kehidupan sehari-hari, dengan adanya air, manusia memanfaatkan untuk minum, mandi, mencuci, dan kebutuhan bangunan. Dan kemudian peran sungai berkembang menjadi sarana transportasi, yang mendorong pertumbuhan permukiman seiring dengan laju pertumbuhan penduduk dan aktifitas sosial-ekonominya, makin lama perannya makin berkembang dan tidak terpisahkan lagi dari keseluruhan sistem pelayanan kota (Chair, 2002).

Permukiman adalah suatu lingkungan yang terdiri dari perumahan tempat tinggal manusia dilengkapi dengan prasarana sosial, ekonomi dan kebudayaan serta pelayanan yang merupakan sub sistem kota secara keseluruhan. Permukiman juga berarti suatu sistem ekologi/ekosistem yang menghasilkan fungsi-fungsi ekonomi mata pencaharian, fungsi reproduksi, rekreasi, hubungan sesamanya, hubungan dengan Tuhan dan hubungan pelayanan seperti sarana pendidikan. sistem ini sudah mencakup tempat tinggal atau permukiman.

Berdasarkan pada bahasan *Human Settlement and Their Elements* (Doxiadis, 1968) dapat didefinisikan bahwa permukiman terdiri dari: (1) *Isi*, berupa manusia secara individual maupun manusia selaku anggota masyarakat; (2) *wadah*, berupa fisik lingkungan permukiman yang terdiri dari lingkungan alam alamiah maupun lingkungan binaan manusia.

Suatu permukiman terbentuk bilamana kedua aspek di atas dapat terpadu atau saling terjadi keterkaitan. kedua elemen yaitu *isi* dan *wadah*, dapat dijabarkan lagi menjadi beberapa bagian: (1) *Nature* (unsur alam), mencakup sumber-sumber daya alam seperti geologi, topografi, hidrologi, tanah, iklim, dan unsur hayati seperti vegetasi dan fauna; (2) *Man* (manusia), mencakup segala kebutuhan pribadinya, seperti kebutuhan biologis, emosional, nilai-nilai moral, perasaan dan persepsinya; (3) *Society* (masyarakat), manusia sebagai bagian dari masyarakatnya; (4) *Shell* (lindungan), tempat dimana manusia sebagai individu dan kelompok melakukan kegiatan dan kehidupannya; (5) *Network* (jejaring), merupakan system alami atau yang dibuat manusia untuk menunjang berfungsinya lingkungan permukimannya, seperti jalan, jaringan air bersih, listrik, telepon, system persampahan dan lain sebagainya (Doxiadis, 1968).

Jadi perubahan permukiman dipengaruhi oleh kekuatan sosial budaya, termasuk agama, pola hubungan kekeluargaan, organisasi/kelompok sosial, cara hidup, dan adaptasi sehari-hari serta hubungan sosial antar individu. Pola permukiman bantaran sungai umumnya adalah pola linear, karena berderet-deret sepanjang pinggir sungai mengikuti bentuk sungainya (Goenmiandari, 2010).

1.3 Metodologi Penelitian

Kajian pustaka dilakukan pada pustaka substansi dan pustaka metodologi. Pustaka substansi terutama pustaka yang memuat informasi tentang permukiman Airmata, antara lain laporan penelitian awal (Lake, 2011), dan *logbook* penelitian lapangan (Lake, 2011). Dalam kajian pustaka dilakukan proses pembacaan ulang data terfokus fenomena *isi* dan *wadah* (Goenmiandari, 2010) permukiman Airmata dengan cara mengangkat sampel (eksemplar) *alam* (baik berupa alam alamiah maupun binaan manusia), *manusia* (berupa penghuni), *masyarakat* (hubungan sosial, budaya, ekonomi, dan adat), *tempat bernaung* (rumah dan bangunan fasilitas pendukung), dan *jaringan* (sarana dan prasarana) permukiman (Doxiadis, 1968). Pembacaan per-kasus *isi* dan *wadah* permukiman Airmata terpilih secara purposif didasari prinsip penelusuran tanda-tanda fisik dan dipetakan hasilnya dengan teknik tabulasi yang memuat kasus, evidensi kontinuitas (*keberlangsungan*) dan evidensi perubahan (*change*) (Purbadi, 2017). Teknik pengambilan sampel didukung oleh proporsi populasi yang ada di permukiman Airmata (1.472 jiwa) menggunakan formula jumlah populasi, variable 1 normal, besar tolesansi penyimpangan dan proporsi populasi (Surtiani, 2006) maka didapat 90 sampel. Dari hasil tabulasi-kualitatif dan kuantitatif, dilakukan proses penyimpulan yang menunjukkan adanya akumulasi indikasi keberlanjutan dan perubahan.

2. PEMBAHASAN

Dalam pembahasan dipaparkan temuan-temuan penelitian (hasil tabulasi) dari fenomena permukiman Airmata. pada pembahasan data permukiman Airmata dikaitkan dengan teori *Human Settlement and Their Elements* yakni *isi* dan *wadah*, secara khusus terfokus pada lima faktor utama tertib pembangunan permukiman (Chair, 2002) yaitu alam, manusia, masyarakat, wadah/sarana kegiatan, dan jaringan prasarana. tujuan pembahasan adalah menemukan faktor dominan “*keberlanjutan* dan *perubahan*” yang terjadi di permukiman Airmata. Diskusi dengan fenomena lain bertujuan melihat kekhasan fenomena permukiman dalam semesta yang lebih luas agar diperoleh bobot pemahaman yang semakin tinggi.

Pemetaan eksemplar lima faktor utama tertib pembangunan permukiman digunakan untuk menunjukkan evidensi perubahan sekaligus evidensi kontinuitas sebab keduanya terkait erat dan sulit dipisahkan karena keduanya ada secara bersama-sama dalam setiap contoh yang dipilih.

Secara formal permukiman Airmata dianggap berdiri 212 tahun yang lalu tepatnya pada tahun 1806 ketika komunitas Kyai Arsyad digusur oleh Belanda dari Oeba, kawasan pantai di belahan Utara kota Kupang, ke Fontein arah Selatan kota Kupang, hingga ke bantaran sungai kali kaca. Masjid Agung yang didirikan di permukiman Airmata dibangun di atas tanah wakaf Syah'ban bin Sanga Kala dan diberi nama Baitul Al-Qadim (rumah pertama) menjadi sejarah awal permukiman Airmata. Masjid Baitul Al-Qadim dibangun dengan perpaduan arsitektur antara unsur budaya Flores Timur dan Arab sebagai simbol perlawanan warga Airmata terhadap koloni Belanda dan Jepang pada masa itu.

Sungai Kali Kaca merupakan salah satu anak sungai yang bermuara di pantai Lai-lai Besi Koepan (LLBK) dianatanya kali Liliba, kali Merdeka dan kali Kaca (kali Dendeng). Dijuluki kali Kaca karena dahulu kali tersebut jernih, dengan kejernihan tersebut masyarakat sekitar memanfaatkan sebagai sumber air minum. Penegaran terhadap kejernihan kali tersebut dipertegas oleh Pemerintah Belanda dengan memberi peraturan untuk tidak boleh membuang sampah pada kali Kaca dengan sanksi yang jelas adalah membayar denda bagi siapa saja yang telah membuang sampah pada kali Kaca. Pantai Lai-lai Besi Koepan adalah dermaga lama kota

Kupang sebagai rantai perdagangan rempah-rempah dan cendana oleh Portugis, Cina, Jepang dan Belanda. Dalam hal perdagangan, transportasi laut selalu menyusuri sungai kali Kaca dari dermaga kota lama Kupang.



Gambar 1. Masjid Baitul Al-Qadim



Gambar 2. Sungai Kali Kaca tempo dulu

Dari kondisi geografis dan sejarah berdirinya permukiman Airmata, terlihat bahwa sungai Kali Kaca merupakan pusat pertumbuhan, jalur pergerakan dan prasarana transportasi utama pada waktu itu. Kegiatan dan kehidupan masyarakat berorientasi ke sungai sehingga sungai mempunyai peranan dan arti yang sangat penting bagi masyarakat Airmata.

Jalan darat diperkenalkan pertama kali oleh Pemerintah sejak Belanda angkat kaki dari Nusantara. Pembuatan jalan darat tersebut dilanjutkan dengan perkembangan permukiman penduduk ke pinggir jalan dengan tujuan aksesibilitas. Pada saat ini dimana transportasi darat lebih berkembang maka masyarakat permukiman Airmata lebih memilih model transportasi darat dibandingkan dengan transportasi air. Disamping itu debit air sungai Kali Kaca menurun akibat faktor alam.



Gambar 3. Peran sungai Kali Kaca



Gambar 4. Peta permukiman Airmata

Kawasan permukiman bantaran sungai Kali Kaca adalah permukiman tua yang merupakan bagian dari sejarah awal perkembangan kota Kupang. Wilayahnya merupakan bagian dari wilayah kota tua kota Kupang kelurahan Airmata. Kondisi geografis wilayah kelurahan Airmata terletak pada ketinggian 3 meter di atas permukaan laut dengan suhu rata-rata 32°C, luas wilayah 12 Ha yang terletak dekat dengan jembatan Selam. Letak kelurahan Airmata di pinggir sepanjang sungai Kali Kaca terbagi atas 3 (tiga) Rukun Warga dan 8 (delapan) Rukun Tetangga dengan jumlah penduduk sebanyak 1.472 jiwa (Airmata, 2017). Menurut kondisi existing serta RTRW 2017 kota Kupang, kawasan ini dipergunakan sebagai kawasan perumahan dan permukiman. Terdapat permukiman lama disepanjang tepi sungai Kali Kaca yang tumbuh secara tradisional akibat sejarah penyebaran agama Islam di kota Kupang dan akibat dari poros transportasi sepanjang tepi sungai dan tumbuh perumahan-perumahan baru baik yang terencana maupun swadaya di bagian daratan akibat dari pembangunan jalan. Perkembangan permukiman dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain pertambahan

penduduk perubahan pola permukiman, pergerakan ekonomi kawasan, jalur transportasi dan lain sebagainya (Goenmiandari, 2010).

Pola permukiman terbentuk karena budaya yang menyangkut cara hidup, cara beradaptasi dengan alam dan lingkungan serta tuntutan pemenuhan kebutuhan. Pada awalnya permukiman Airmata berbentuk linear dengan arah orientasi ke sungai Kali Kaca. Bangunan merupakan bangunan tradisional bergaya Hindia Belanda, kebanyakan berbentuk limasan, perisai dan pelana.



Gambar 5. Tipologi bangunan rumah tinggal di permukiman Airmata

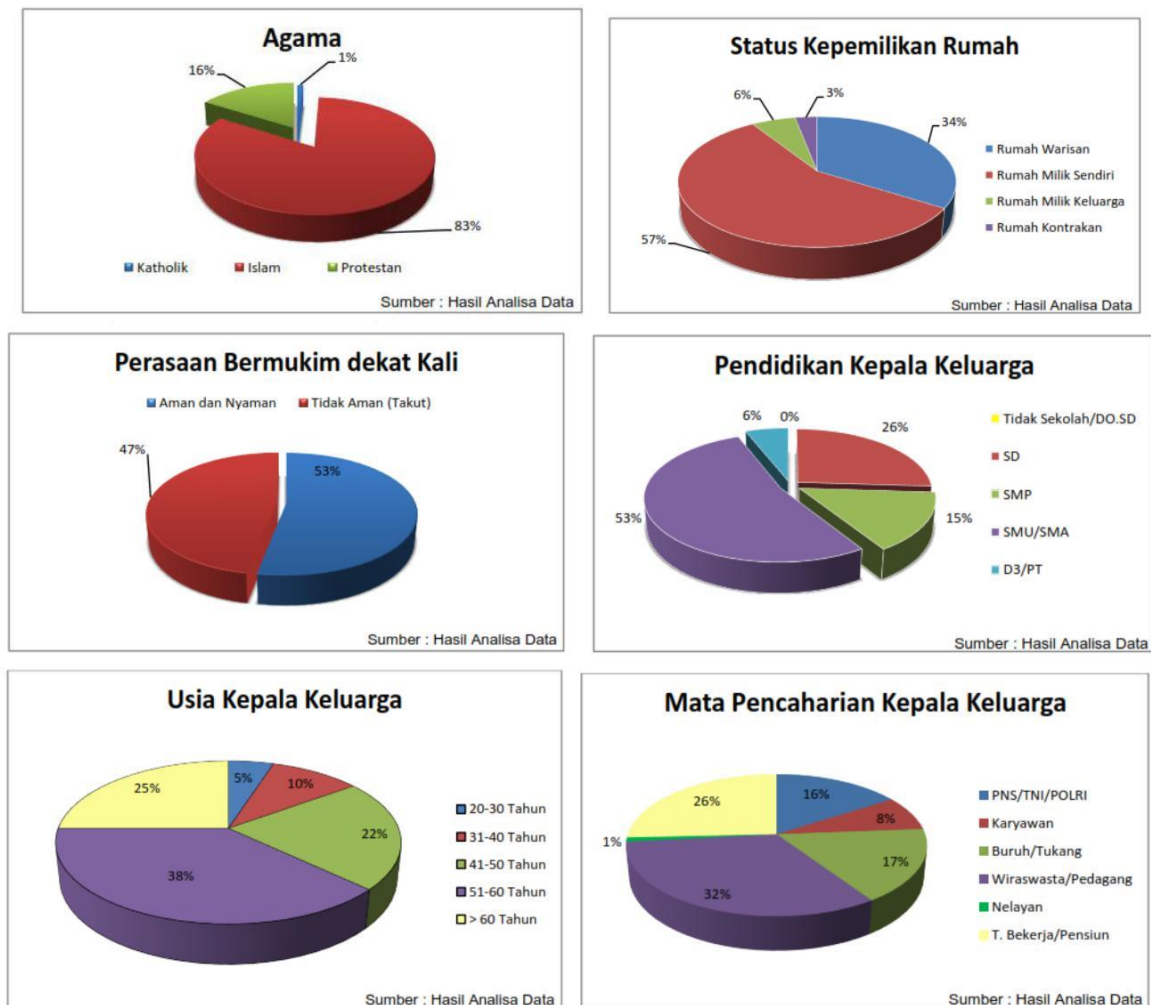
Pembahasan mengenai data-data yang diperoleh dari wawancara dan observasi langsung setelah dianalisis secara deskriptif kualitatif dan kuantitatif menghasilkan faktor-faktor yang menyebabkan keterkaitan penghuni permukiman bantaran sungai dengan sungai/air adalah (1) aktivitas transportasi sungai, hal ini dipengaruhi oleh pemenuhan sarana dan prasarannya, (2) aktivitas ekonomi sungai dan termasuk di dalamnya sebagai sumber ekonomi, (3) aktivitas mandi, cuci kakus, dan persampahan, (4) aktivitas sosial dan budaya, (5) kebutuhan akan pemenuhan air bersih dan air minum. Namun pada saat ini faktor pengikat yang masih ada adalah pada pemenuhan kebutuhan sanitasi dan penyediaan air bersih untuk mandi dan cuci.

Adaptasi masyarakat terhadap lingkungan sungai hanya sebatas pada proteksi terhadap diri sendiri, tetapi tidak memperhitungkan akibat yang diterima oleh lingkungan akibat dari adaptasi yang dilakukan. Orientasi rumah membelakangi sungai Kali Kaca menciptakan limbah MCK dan sampah yang langsung dibuang ke sungai Kali Kaca.



Gambar 6. Orientasi rumah membelakangi sungai Kali Kaca dimanfaatkan untuk limbah MCK Sumber: dokumentasi pribadi

2.1 Faktor Non Fisik



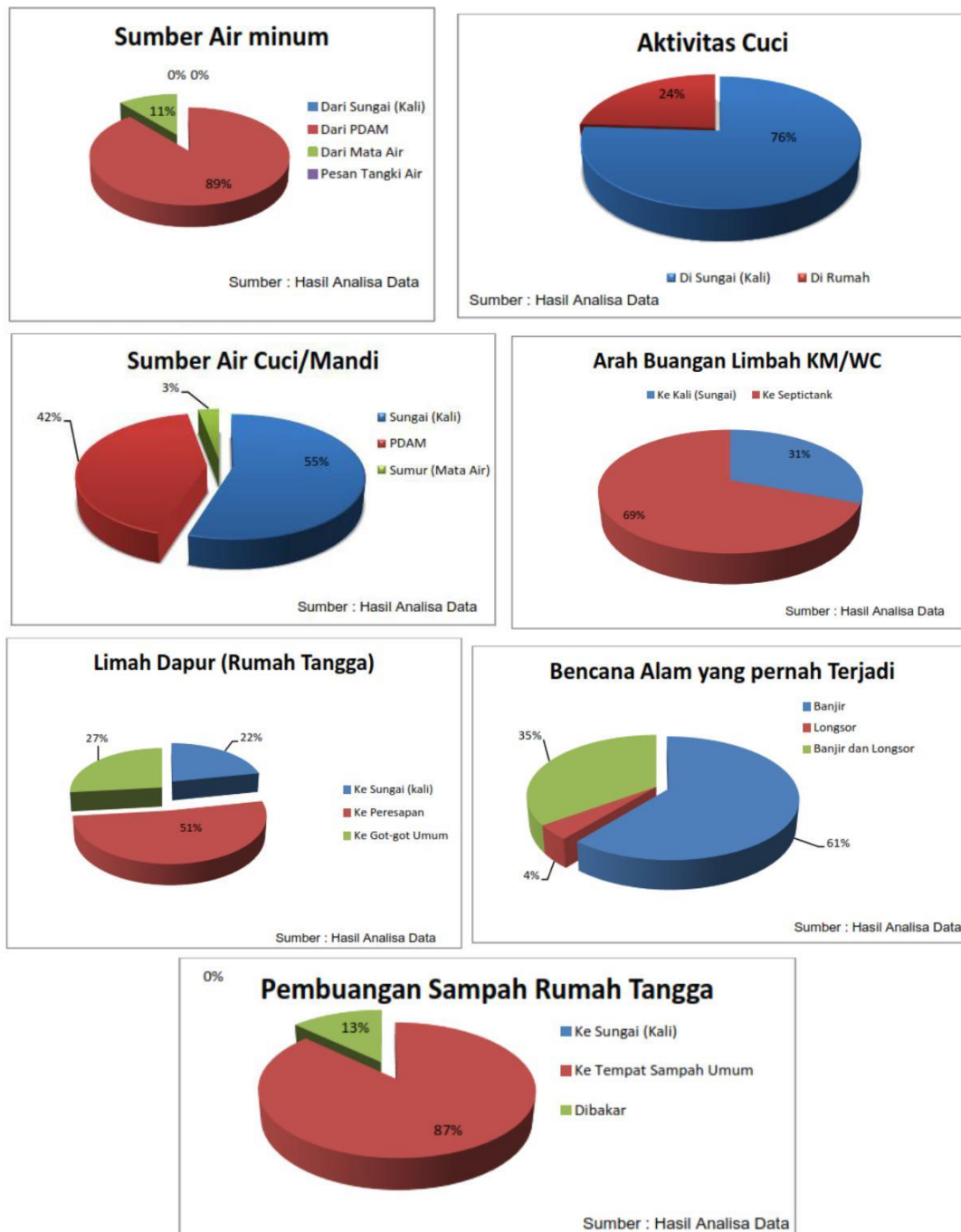
Gambar 7. Diagram faktor non fisik

2.2 Faktor Fisik Bangunan



Gambar 8. Diagram faktor fisik bangunan: atap dan material bangunan

2.3 Faktor Fisik Lingkungan



Gambar 9. Diagram faktor fisik lingkungan

Selain analisis faktor dominan yang mempengaruhi kondisi permukiman Airmata (keterkaitan penghuni permukiman bantaran sungai dengan sungai), juga dianalisis perubahan bentuk bangunan dan perubahan kegiatan sosial budaya pada masyarakat yang menghasilkan faktor penyebab perubahan, yaitu:

- Bertambahnya jumlah rumah akibat dari penambahan penduduk dan urbanisasi;
- Bertambahnya jalur sirkulasi darat;
- Keinginan memperoleh rumah yang layak dan kemudahan mendapatkan keperluan kehidupan sehari-hari tanpa mengeluarkan biaya karena keterbatasan finansial penghuni
- Berkurangnya minat untuk mempergunakan sarana transportasi sungai karena adanya sarana transportasi lain dan kurangnya campur tangan Pemerintah untuk membenahi transportasi sungai.

Untuk menata keberlanjutan suatu permukiman maka harus diperhatikan unsur-unsur di dalam permukiman tersebut, karena menurut (Doxiadis, 1968) unsur-unsur pembentuk permukiman saling terkait dan saling mempengaruhi satu sama lain. Unsur-unsur permukiman itu adalah alam, manusia, kehidupan bermasyarakat, tempat berlindung dan sarana prasarana permukiman (*networking*).

Berikut kriteria penataan keberlanjutan permukiman di bantaran sungai berdasarkan analisis sesuai pendekatan (Doxiadis, 1968) yaitu:

- a. Menghidupkan kegiatan ekonomi di sungai dengan cara meletakkan simpul-simpul pasar di antara beberapa permukiman pinggir sungai
- b. Menata permukiman dengan mempertimbangkan orientasi kawasan tertuju ke sungai; fasade bangunan ke arah sungai; aksesibilitas dua arah, dari sungai ke darat dan dari darat ke sungai; adanya hubungan antara jalan darat beserta fasilitas publiknya dengan sungai; dan tampilan sungai terlihat dari daratan;
- c. Memperbaiki sanitasi lingkungan menggunakan teknik baru dengan masih mempertimbangkan kebiasaan masyarakat dalam berinteraksi dengan sungai;
- d. Menghentikan pertumbuhan permukiman baru di tepi sungai;
- e. Membongkar bangunan ilegal dan berumur kurang dari 50 tahun untuk dipindahkan ke tempat lain;
- f. Menjaga ekosistem sungai dengan cara mengendalikan sedimentasi sungai dan kebersihan sungai.

3. KESIMPULAN

Dari seluruh uraian di atas disimpulkan terdapat perubahan pola permukiman Airmata yakni pola orientasi bangunan dari sungai ke darat akibat faktor munculnya sirkulasi-sirkulasi jalan baru yang ada di darat. Permukiman bantaran sungai Kali Kaca patut untuk ditata agar terjaga kelestariannya karena mempunyai kehidupan bermukim yang khas menyangkut interaksi dan ketergantungannya kepada sungai. Konsep keberlanjutan yang diperoleh dari analisis terhadap permukiman bantaran sungai Kali Kaca meliputi penataan kegiatan ekonomi di sungai, penataan permukiman bantaran sungai, penataan serta pengendalian lingkungan sungai. Ketiga konsep harus dilaksanakan bersamaan karena ketiganya saling berkaitan satu sama lain.

PUSTAKA

- Airmata, P. D. (2017). *Laporan Bulanan Januari 2017 Kecamatan Kota Lama Kelurahan Airmata*. Kupang: Kecamatan Kota Lama Kelurahan Airmata.
- Chair, M. (2002). *Banjarmasin, Karakteristik dan Faktor Yang Mempengaruhi Kondisi Permukiman di Kawasan Sekitar Aliran Sungai Martapura*. Semarang: Pasca Sarjana Universitas Diponegoro.
- Doxiadis, C. A. (1968). *Existic an Introduction to The Sciende of Human Settlement*.
- Goenmiandari, B. (2010). *Konsep Penataan Permukiman Bantaran Sungai di Kota Banjarmasin berdasarkan Budaya Setempat*. Surabaya: Pasca Sarjana ITS.
- https://id.wikipedia.org/wiki/Masjid_Agung_Al-Baitul_Qadim.
- Indonesia, P. R. (1992). *Undang-undang Republik Indonesia nomor 5 tahun 1992 tentang Benda Cagar Budaya*. Jakarta: Undang-undang RI.
- Lake, R. C. (2011). *Karakteristik dan Faktor Keterkaitan Kondisi Permukiman Airmata sekitar Aliran Kali Kaca*. Kupang: Tidak dipublikasikan.
- Purbadi, Y. D. (2017). Continuity and Change Dalam Arsitektur Vernakular Kajian Fenomena Lopo Di Desa Kaenbaun. *Seminar Nasional Riset dan Teknologi Terapan* (hal. 70). Kupang: Program Studi Teknik Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Katolik Widya Mandira.
- Spradley, J. P. (1997). *Metode Etnografi, Terjemahan Misbah Yulfa Elisabeth*. Yogya: PT. Tiara Wacana.
- Surtiani, E. E. (2006). *Faktor-faktor yang Mempengaruhi Terciptanya Kawasan Permukiman Kumuh di Kawasan Pusat Kota*. Semarang: Pasca Sarjana Universitas Diponegoro.

HARMONISASI PENGEMBANGAN KAMPUNG ORGANIK BERBASIS KOMUNITAS DI KOTA YOGYAKARTA

Paulus Bawole¹, Haryati B. Sutanto², Winarna³

¹ Jurusan Arsitektur, Fakultas Arsitektur dan Desain, Universitas Kristen Duta Wacana
Jalan Dr. Wahidin Sudirohusodo No. 5 - 25, Yogyakarta

Telp. (2741) 563929

² Jurusan Biologi Lingkungan, Fakultas Bioteknologi, Universitas Kristen Duta Wacana
Jl. Tanjung Alang No. 23, Makassar

³ Jurusan Arsitektur, Fakultas Arsitektur dan Desain, Universitas Kristen Duta Wacana
E-mail: paulus@staff.ukdw.ac.id; haryati@staff.ukdw.ac.id; winarna@yahoo.com,

ABSTRAK

Meskipun kualitas lingkungan disekitar permukiman masyarakat berpenghasilan rendah tidak memenuhi syarat, namun kreativitas mereka dalam mengembangkan permukiman sangat unik dan dapat menunjukkan identitas mereka sebagai permukiman khusus yang berkembang di tengah kota Yogyakarta. Semua bentuk Arsitektur dan Permukiman dibangun sesuai dengan kebutuhan masyarakatnya, mengakomodasi nilai-nilai, keadaan ekonomi dan cara hidup masyarakat yang berbudaya. Harmonisasi pengembangan kampung organik di kota Yogyakarta dilakukan dengan melibatkan komunitas sehingga perencanaan fasilitas permukiman yang ada dapat merefleksikan identitas local yang kuat dan sesuai dengan kebutuhan mereka.

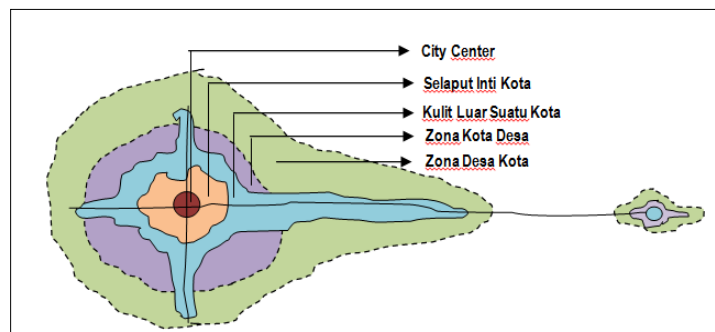
.Kata Kunci: Harmonisasi, Permukiman Organik, Berbasis Masyarakat

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bentuk kota bukan hanya sekedar tumpukan batu bata dan adukan semen; mereka mewakili mimpi, aspirasi dan harapan orang-orang yang tinggal di dalamnya. Di satu sisi, setiap kota memiliki "kepribadian" tersendiri, dengan kekuatan dan kelemahan, kegagalan dan keberhasilan. Jiwa kota ditunjukkan melalui warisan budaya, tradisi dan tatanan sosial. Manajemen aset manusia, sosial, budaya dan intelektual kota sangat penting untuk pengelolaan infrastruktur urbanisasi, fasilitas sosial dan ruang publik yang harmonis. Hal tersebut mencerminkan pendekatan baru dan inovatif untuk perencanaan dan pembangunan kota yang melibatkan lebih banyak warga secara langsung, inklusif dan pro-kaum miskin. Dengan melibatkan masyarakat di seluruh proses perencanaan dan perancangan kota, tujuan peningkatan kualitas lingkungan perkotaan dapat dicapai dengan mudah, karena orang-orang di daerah target tahu persis apa masalah, kebutuhan dan kemampuan mereka untuk memperbaiki lingkungan hidup mereka.

Pertumbuhan perkotaan secara otomatis mempengaruhi perkembangan ruang yang ada di dalam kota termasuk bentuk spasial dari permukiman spontan yang dihuni oleh masyarakat berpenghasilan rendah. Permukiman spontan disebut juga pemukiman berpenghasilan rendah dan kebanyakan memiliki fasilitas infrastruktur yang minim. Di pemukiman berpenghasilan rendah ini orang miskin membangun rumah sederhana mereka dengan bahan bangunan sederhana. Karena orang-orang di lingkungan berpenghasilan rendah secara sosial terpinggirkan oleh masyarakat yang tinggal di luar, bentuk arsitektur rumah mereka dikenal sebagai Arsitektur Terpinggirkan. Di banyak kota besar negara berkembang termasuk Indonesia, Arsitektur Marginal selalu tersedia di pemukiman berpenghasilan rendah. Oleh karena itu Arsitektur Marginal di Indonesia dapat menjadi identitas dari perkembangan kota-kota besar.



Gambar 1. Pertumbuhan Kota Akibat Arus Perkembangan Infrastruktur dan Peningkatan intensitas Kegiatan di Pusat Kota (Yunus, 2006)

Perkembangan permukiman kampung kota juga terjadi di Yogyakarta, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Proses perkembangan kampung kota ini sudah terjadi sejak jaman penjajahan sampai saat ini. Keadaan ini teridentifikasi dari toponim beberapa Kampung kota yang menjadi ciri khas suatu wilayah Kampung kota. Dari nama-nama kampung kota tersebut dapat diketahui bahwa pertumbuhan permukiman pada wilayah kampung tersebut sudah terjadi dalam masa penjajahan Belanda. Perkembangan saat ini terlihat semakin padat dan terjadi degradasi lingkungan pada kawasan permukiman. Untuk melakukan perbaikan kampung kota ada banyak institusi yang melakukan perbaikan kampung kota termasuk dari program-program pemerintah. Untuk melakukan pengembangan pada kampung kota tersebut hampir semua stakeholder yang mencoba mengembangkan Kampung kota selalu berusaha melakukan harmonisasi perkembangan kampung kota dengan basis pada pemberdayaan masyarakat. Paper ini merupakan angkuman dari hasil observasi lapangan dan beberapa penelitian yang terkait dengan pengembangan Kampung kota yang dilakukan dengan konsep pengembangan kota yang akrab terhadap lingkungan yang berkelanjutan.

1.2 Diskusi Teoritis dan Observasi Lapangan

Dalam dua dekade terakhir, pertumbuhan populasi urban di negara berkembang telah mencapai rata-rata 3 juta orang per minggu. Pada pertengahan abad ke-21, total populasi perkotaan di negara berkembang akan meningkat lebih dari dua kali lipat, meningkat dari 2,3 miliar pada 2005 menjadi 5,3 miliar pada 2050. Pada 2050, Asia akan menjadi tuan rumah dari 63 persen populasi perkotaan global, atau setara dengan 3,3 miliar orang, sementara Afrika akan memiliki populasi perkotaan 1,2 miliar, atau hampir seperempat dari populasi perkotaan dunia. Secara keseluruhan, 95 persen pertumbuhan populasi perkotaan dunia selama empat dekade berikutnya akan diserap oleh kota-kota di negara berkembang. (UN - HABITAT, 2008)

Kota besar selalu memberikan layanan kepada warganya yang melakukan aktivitas sehari-hari mereka di dalam kota. Pertumbuhan spasial perkotaan sangat dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk di dalam kota. Penghuni kota memerlukan fasilitas infrastruktur yang umumnya dapat dibagi menjadi Infrastruktur Teknis (misalnya. Listrik, drainase, pasokan air bersih, jaringan telepon, dll.), Infrastruktur Sosial (misalnya sekolah, pasar, gedung perkantoran pemerintah, gedung olahraga, dll.) dan Infrastruktur Transportasi (jalan, jalan raya, jembatan, stasiun kereta api, bandara, pelabuhan, dll.). Ketiga fasilitas infrastruktur tersebut dapat mempengaruhi karakter pembangunan tata ruang kota.

Terkait dengan pertumbuhan spasial perkotaan, dapat dibedakan antara pertumbuhan spasial perkotaan formal dan informal. Sebagian besar pertumbuhan spasial kota formal dikembangkan oleh orang-orang yang berada di kelompok masyarakat menengah ke atas. Sedangkan bentuk spasial perkotaan informal dikembangkan oleh orang-orang terpinggirkan yang berada dalam kelompok masyarakat berpenghasilan rendah yang dikenal sebagai orang-orang akar rumput. Kedua bentuk tata ruang kota yang berbeda dapat dibedakan berdasarkan pola jalan dan juga bentuk perkotaan. Dalam bentuk spasial formal pola jalan dapat dikenali dengan jelas, karena area yang dibangun dikembangkan mengikuti rencana yang dibuat sebelumnya. Bentuk informal dikembangkan oleh orang-orang yang terpinggirkan tanpa perencanaan apapun. Pola jalan dan bentuk ruang dibentuk mengikuti rumah-rumah yang dibangun juga secara spontan. Oleh karena itu tidak ada bentuk spasial khusus yang dikembangkan oleh orang-orang yang terpinggirkan. Demikian pula tidak ada bentuk khusus Arsitektur Marginal di permukiman berpenghasilan rendah, karena mereka membangun rumah mereka secara spontan sesuai dengan pengetahuan dan kemampuan keuangan mereka

Permukiman berpenghasilan rendah terbentuk, karena orang miskin tidak mampu membayar harga rumah yang dibangun di lahan resmi dan penjualan perumahan, bahkan dalam bentuk rumah paling minimal atau rumah paling murah. Banyak dari mereka juga menghadapi hambatan besar dalam mengakses perumahan dan tanah karena birokrasi dan kendala lain yang muncul. [UNESCAP 2008] Dengan mempertimbangkan situasi ekonomi penduduk miskin yang tinggal di permukiman berpenghasilan rendah, dapat dipahami bahwa mereka adalah pekerja keras, rajin mencari kebutuhan dasar bagi keluarga mereka. Bukan hanya suami yang bekerja, tetapi juga sang istri bekerja membantu suami agar mendapat penghasilan tambahan. Ketergantungan mereka ke pusat keramaian di tengah kota sangat kuat, karena di pusat kota mereka bisa mendapat penghasilan harian. (Bawole, 2007)

Dari penjelasan di atas peran masyarakat berpenghasilan rendah dalam pertumbuhan kawasan perkotaan dapat diidentifikasi sebagai berikut:

- a. menyediakan tenaga manusia yang murah
- b. mengumpulkan limbah padat seperti kaleng, kertas, gelas, plastik untuk didaur ulang
- c. bekerja di sektor informal seperti pedagang kaki lima, kios informal lima

1.3 Peran Masyarakat Berpenghasilan Rendah Pada Pengembangan Kampung Kota

Bentuk kota bukan hanya sekedar tumpukan bahan bangunan dan adukan semen; mereka mewakili mimpi, aspirasi dan harapan orang-orang yang tinggal di dalamnya. Di satu sisi, setiap kota memiliki "kepribadian" tersendiri, dengan kekuatan dan kelemahan, kegagalan dan keberhasilan. Jiwa kota yang ditunjukkan melalui warisan budaya, tradisi dan tatanan sosial. Manajemen aset manusia, sosial, budaya dan intelektual kota sangat penting untuk pengelolaan infrastruktur, fasilitas sosial dan ruang publik yang harmonis.

Ini mencerminkan pendekatan baru dan inovatif untuk perencanaan dan pembangunan kota yang melibatkan lebih banyak warga secara langsung, inklusif dan pro-kaum miskin. Dengan melibatkan masyarakat di seluruh proses perencanaan dan perancangan kota, tujuan peningkatan kualitas lingkungan perkotaan dapat dicapai dengan mudah, karena orang-orang di daerah target tahu persis apa masalah, kebutuhan dan kemampuan mereka untuk memperbaiki lingkungan hidup mereka.

Permukiman yang dihuni oleh masyarakat berpenghasilan rendah biasanya tidak dapat dilihat langsung dari jalan utama, karena keberadaan mereka tersembunyi di balik area perbelanjaan atau area perumahan yang dibangun secara resmi. Kepadatan bangunan tempat tinggal yang dibangun oleh masyarakat berpenghasilan rendah sangat tinggi dan lokasi satu rumah ke rumah lainnya cukup dekat. Sebagian besar pola permukiman dibentuk oleh jalan spontan atau alley dianggap sebagai pola tidak teratur. Selain itu, ada jalur tertentu yang sering dilewati oleh penduduk dan jalur tersebut menjadi sirkulasi utama permukiman. Jalur kecil lainnya seperti gang atau jalan kecil alternatif, yang disebut "jalur tikus atau" jalan tikus "dapat terhubung ke jalur utama atau bahkan ke jalan utama.

Pertumbuhan permukiman berpenghasilan rendah di mana Arsitektur marginal hadir selalu terjadi di kota-kota besar di Indonesia mengikuti pertumbuhan urbanisasi. Orang miskin yang bermigrasi ke kota, kebanyakan tinggal di daerah kosong yang tidak cocok untuk area perumahan seperti di bawah jembatan, sepanjang tepi sungai, sepanjang stasiun kereta api atau mungkin di daerah pemakaman tua. Masyarakat memilih daerah tersebut karena mereka tidak harus membayar tanah dan juga tidak terlalu jauh dari daerah di mana mereka mendapatkan uang dari sektor informal

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

2.1 Karakteristik Kampung Organik di Kota Yogyakarta

Kawasan perkotaan dan bentuk-bentuk arsitektur didalamnya mempunyai hubungan antara satu dengan yang lainnya; mereka berinteraksi dalam bidang desain dan inovasi pengembangan massa dan spasial atau dikenal dengan solid - void. Pada umumnya bentuk kota dan arsitekturnya dapat menggambarkan karakteristik bentuk dan latar belakang perkembangan suatu kota. Sederetan bangunan dapat digabungkan ke dalam latar belakang suatu kota dengan bentuk yang sangat menarik. Sebagai sebuah identitas pertumbuhan perkotaan di kota-kota besar, arsitektur kampung kota dapat diidentifikasi melalui beberapa aspek. Dalam paper ini bentuk Arsitektur dan Permukiman Kampung Kota akan didiskusikan dalam ciri-ciri bentuk perkotaan, desain bangunan, ruang publik dan jalan lokal atau jalan kampung di tengah permukiman.

2.2 Bentuk Perkotaan

Ciri sebuah permukiman informal umumnya memiliki pola yang sesuai dengan sebuah perencanaan yang telah dikembangkan sebelumnya. Sementara pertumbuhan permukiman informal berkembang secara sporadic tanpa sebuah rencana dan pola spasial dari permukiman informal otomatis menjadi tidak teratur. Mereka yang hidup dalam kemiskinan di permukiman berpenghasilan rendah terpinggirkan dari masyarakat permukiman formal; yang miskin hidup tanpa status sah; dan kualitas lingkungan di sekitar area perumahan mereka jugalah sangat miskin. [Bawole 2009]

Bentuk atap dari desain rumah didominasi oleh bentuk sederhana dari atap tradisional Jawa yang disebut "Kampung" dan "Panggung Pe". Bentuk atap seperti Limasan, Tajuk dan Joglo hanya ditemui di beberapa rumah. Pada umumnya atap dengan bentuk kompleks dimiliki oleh bagian atas warga berpenghasilan rendah atau warga berpenghasilan menengah. Dinding rumah terbuat dari bahan yang sangat sederhana, seperti kardus, plastik dan bambu hingga batu bata dengan hasil akhir yang bagus. Lantai terbuat dari papan atau bambu, semen, ubin, keramik atau hanya dari tanah tanpa dibangun. (Bawole, 2010)

2.3 Jalan Kampung

Fasilitas yang dekat dengan ruang terbuka adalah jalan Kampung yang menghubungkan rumah-rumah dengan ruang terbuka di permukiman. Seperti ruang terbuka, jalan Kampung juga terbentuk secara spontan, sebagai akibat dari berkembangnya perumahan secara sporadis. Jalan-jalan Kampung di permukiman informal tidak memiliki pola, ukuran dan bentuk yang spesifik. Namun yang paling sering digunakan oleh warga sebagai jalur sirkulasi dapat dikategorikan sebagai jalan utama dan permukiman lokal. Jalan utama Kampung pada umumnya lebih lebar dari jalan-jalan alternatif yang disebut "Jalan Tikus". Lebar jalan utama kira-kira 1.5 – 3 meter. (Bawole, 2008)



Gambar 2. Pembangunan Permukiman Kampung kota di Kelurahan Ngampilan – Kota Yogyakarta

2.4 Ruang Publik

Ruang terbuka di pemukiman informal terbentuk secara spontan karena rumah yang berada di daerah kumuh berkembang tanpa rencana. Meskipun ruang terbuka di daerah kumuh tidak memiliki pola dan bentuk yang spesifik, para warga menggunakannya secara efektif. Dari beberapa observasi lapangan, ditemukan beberapa situasi dimana ruang terbuka umum atau jalan lokal/Kampung dapat memperlapang aktivitas para warga. Salah satunya adalah terdapatnya ruang terbuka sebagai orientasi dari beberapa rumah. Dengan adanya orientasi dari beberapa rumah di ruang terbuka, banyak warga yang berkomunikasi atau berinteraksi sosial di ruang terbuka itu.

Umumnya ruang terbuka yang digunakan sebagai orientasi dari beberapa rumah akan digunakan secara ekstensif oleh anak-anak, remaja, pemuda dan orang tua. Mereka menggunakan ruang terbuka secara bergiliran. Stimulasi lain untuk aktivitas warga adalah tersedianya fasilitas infrastruktur teknik di ruang terbuka, seperti kran air, sumur galian publik dan juga fasilitas infrastruktur sosial seperti pos jaga malam, warung, mushola, dll. Fasilitas-fasilitas ini dapat mendorong para warga untuk berinteraksi sosial dan berkomunikasi diantara mereka.

Jika tidak terdapat ruang terbuka di pemukiman, para warga akan melakukan interaksi sosial mereka di jalan lokal dekat rumah mereka. Terutama anak-anak, ruang terbuka umum memiliki peran penting dalam bermain dan dalam mengekspresikan kreativitasnya. Selain itu, ruang terbuka juga sangatlah penting bagi pemukiman informal yang memiliki perumahan yang sangat padat, sebagai tempat untuk sirkulasi udara. (Bawole, 2009)

2.5 Pola Sirkulasi di dalam Pemukiman Informal

Seperti yang telah dikatakan sebelumnya, pemukiman informal berkembang secara tiba-tiba tanpa sebuah perencanaan. Konsekuensinya adalah tidak adanya pola sirkulasi dalam permukiman. Kombinasi antara jalan utama dan jalan-jalan kecil atau gang membuat pemukiman menjadi spesial. Jalan-jalan ini sangatlah penting bagi para penduduk karena banyak dari mereka yang menggunakannya sebagai ruang publik dimana mereka saling berinteraksi. Karakter sirkulasi di dalam pemukiman informal dapat dilihat di bawah :

- Biasanya pola sirkulasi di dalam pemukiman informal berbentuk linear mengikuti aliran sungai atau mengikuti jalan. Bila pemukiman berkembang di daerah yang terjal, pola sirkulasi berbentuk tegak lurus terhadap sungai atau jalan.
- Bila sirkulasi utama berkembang di tengah area perumahan, fasad depan yang menghadap ke jalan mempunyai tampilan yang lebih bagus dibandingkan yang belakang. Bila berkembang sepanjang sungai, para penduduk membuang semua sampah sehari-hari mereka langsung ke dalam sungai.
- Sirkulasi lainnya tidak memiliki pola yang special karena mereka terbentuk secara spontan mengikuti pola area perumahan
- Banyak terdapat jalan kecil, atau gang yang juga disebut jalan tikus, yang digunakan oleh para penduduk sebagai sirkulasi alternatif jalan utama.

2.6 Harmonisasi Pengembangan Kampung Organik

Perkembangan daerah perkotaan selalu mengikuti pertumbuhan jumlah populasi karena semakin banyak jumlah populasi dalam sebuah kota, semakin banyak fasilitas di perkotaan yang meningkat. Karena bentuk perkotaan adalah hasil dari campur tangan manusia pada longkungan alam, kualitas dari hubungan antara lingkungan alam dengan lingkungan buatan manusia sangat bergantung pada manusia yang melakukan aktivitas mereka di daerah perkotaan. [lihat gambar 2] Jika aktivitas mereka tidak mempertimbangkan aspek ekologis dari daerah perkotaan, kualitas lingkungannya akan menjadi buruk. Sedangkan jika manusia melakukan aktivitas mereka dengan mempertimbangkan aspek ekologis, perkembangan daerah perkotaan akan harmonis dan berkelanjutan.

Berhubungan dengan aspek ekologis dari daerah perkotaan, beberapa isu harus dipertimbangkan. Isu-isu itu dijelaskan sebagai berikut:

- Kualitas kehidupan komunitas – menciptakan kesempatan-kesempatan untuk perbaikan dan pengembangan identitas sebuah kota dan warganya
- Desain – mendukung penggunaan secara efektif dan pengembangan tanah dan bangunan untuk keuntungan daerah lokal
- Ekonomi – Meningkatkan perkembangan yang mempunyai pengaruh terkecil terhadap lingkungan dan mendukung inisiatif melindungi dan merawat daerah alam
- Kesehatan – Menciptakan komunitas yang aman dan tempat tinggal yang sehat
- Perumahan – Mendukung adanya variasi jenis perumahan dan memperbanyak pilihan gaya hidup
- Transportasi – Menyediakan infrastruktur yang mendukung berbagai jenis transportasi, seperti jalan kaki, bersepeda dan transportasi umum



Gambar 3. Pembuatan SAL (kiri) dan upaya penanda dengan cat warna hijau untuk bak control SAL(kanan)

3. KESIMPULAN

Berdasar diskusi di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa permukiman Kampung kota yang berkembang secara organik dapat mempunyai ciri khas tertentu. Proses perkembangan permukiman masyarakat yang tinggal pada permukiman kampung kota dapat memberi warna sesuai dengan karakteristik ekonomi, social dan budaya setempat. Dengan melibatkan masyarakat setempat dalam proses perencanaan dan perancangan Kampung kota yang sudah berkembang secara organik dapat mengharmoniskan semua potensi yang dimiliki oleh permukiman dan bentuk arsitektur secara fisik maupun manusia sebagai masyarakat yang melakukan aktivitas di dalamnya. Aspek-aspek ekologis, lingkungan yang berkelanjutan dan berbasis kearifan local dapat mendukung proses pengembangan permukiman kampung kota.

PUSTAKA

- Bekele, Degu, etc., “Characteristics of Squatter Houses in Burayu Town Adjoining Addis Ababa, Capital City of Ethiopia” in *Journal Civil and Environment*, Vol. 6, No. 8, 2014
- Bawole, Paulus.(2010) *Journal Ilmiah Peberdayaan Masyarakat*, Vol. 1 Nomor 2, Februari 2010, with the title: Advocacy Development Planning for and with the Poor. Yogyakarta
- Bawole, Paulus.(2011) Problem atau Potensi ? “Fenomena Informal pada Perkembangan Kota di Indoesia” pada: *Arsitektur di tengah-tengah Perubahan Mau Kemanakah ?* edited by Henry Feriadi. Penerbit UKDW, Yogyakarta dan Penerbit Pohon Cahaya, Yogyakarta
- Yunus, Hadi Sabari.(2006) *Megapolitan; Konsep, Problematika dan Prospek*. Yogyakarta: Pustaka Belajar.

- Rajan, Sonika. (2009) *New Horizons in Education (Journal of Education Honking Teachers, Association)*, Vol. 57 No.3 (Special Issue) December 2009 with the title: "Human Resources Building- an Approach to Service-Learning"
- Soltesova, Katarina, etc.(2014), "Community Participation in Urban Adaptation to Climate Change: Potential and Limits for Community-Based Adaptation Approaches" in *Community-Based Adaptation to Climate Change – Scaling it up*, edited by E. Lisa F. Schipper, etc., Oxon.
- Srinivas, Hari. (2005) "*Defining Squatter Settlements.*" The Global Development Research Center. 19 Dec. (<http://www.gdrc.org/uem/define-squatter.html>)
- The World Bank.(2000), (<http://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview>)
- Nikken Sekkel Ltd., *Urban Development Strategy and City Assistance Program in East Asia*, the World Bank,
- United Nations. *UN Millennium Development Goals*. 12 January 2006 (<http://www.un.org/millenniumgoals/>)
- UN-HABITAT. (2008). *State of the World's Cities 2008/2009: HARMONIOUS CITIES*. London: Earthscan

KONSEP "AMONG TANI DAGANG LAYAR" TATA RUANG WILAYAH DIY DAN PEMBANGUNAN KAWASAN WISATA BAHARI

Amos Setiadi¹

Program Studi Magister Arsitektur, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jalan Babarsari No.44, Yogyakarta
Telp. (0274)487711
E-mail: amos-s@mail.uajy.ac.id

ABSTRAK

Dasar filosofi pembangunan DIY (DIY) adalah Hamemayu Hayuning Bawana. Hamemayu Hayuning Bawana bermakna kewajiban melindungi, memelihara, dan membina keselamatan dunia. Dunia yang dimaksud mencakup keluarga, masyarakat, serta lingkungan hidup dengan mengutamakan kehidupan banyak orang. Hamemayu Hayuning Bawana menjadi cita-cita luhur mewujudkan kehidupan masyarakat DIY yang berkelanjutan berdasarkan nilai budaya. Studi ini dilakukan melalui tahapan mengumpulkan data baik data primer dan data sekunder, serta melakukan kajian terhadap isu penataan ruang terkait pembangunan kemaritiman yang diajukan sebagai permasalahan dalam penelitian. Pembahasan menggunakan metode pendekatan yuridis normatif dan pendekatan yuridis empiris. Pendekatan penelitian ini diperlukan guna memahami konsep rencana tata ruang wilayah secara komprehensif untuk selanjutnya dikaitkan relevansinya dengan pembangunan kemaritiman di DIY. Paradigma Pembangunan Tata Ruang DIY yaitu Among Tani Dagang Layar. Paradigma ini didukung dengan Penetapan Kawasan Strategis DIY khususnya di Pesisir Pantai Selatan agar pengelolaan, pemanfaatan, serta pengendalian kawasan strategis provinsi khususnya terkait dengan potensi wisata bahari dalam mendukung Pembangunan Kemaritiman DIY lebih tepat sasaran dan lebih efisien.

Kata Kunci: Wisata, Bahari, Among Tani, Dagang Layar

1. PENDAHULUAN

1.1 Latarbelakang

DIY (DIY) terletak di bagian tengah Selatan Pulau Jawa, secara astronomi terletak pada 7°33'-8°12' Lintang Selatan dan 110°00'-110°50' Bujur Timur, dengan luas 3.185,80 km². Secara administratif terdiri atas 1 (satu) kota dan 4 (empat) kabupaten. Wilayah administrasi DIY dibatasi oleh:

- a) Sebelah Utara : Kabupaten Magelang dan Kabupaten Klaten
- b) Sebelah Timur : Kabupaten Klaten dan Kabupaten Wonogiri
- c) Sebelah Selatan : Samudera Hindia
- d) Sebelah Barat : Kabupaten Purworejo

DIY memiliki topografi wilayah yang beragam, mulai dari ketinggian 0 mdpl di bagian Selatan hingga ketinggian lebih dari 2000 mdpl di bagian Utara. Semakin ke Utara kontur lahan semakin tinggi dimana di sisi Utara terdapat Gunung Merapi. Di Kabupaten Gunungkidul terdapat jajaran bukit yang dinamakan Pegunungan Seribu dengan ketinggian antara 150-700 mdpl. DIY beriklim tropis yang dipengaruhi oleh musim kemarau dan musim hujan. Suhu udara rata-rata selama tahun 2012 adalah 27,21°C. Curah hujan rata-rata 0,0-404,5 mm dengan jumlah hari hujan per bulannya antara 0-29 kali. Sedangkan kelembaban udara tercatat antara 41,5-96%. Jenis tanah didominasi oleh tanah lithosol dan regosol, masing-masing sebesar 33,05% dan 27,09%.

Dalam Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional (RTRWN) Pasal 19 tentang pusat kegiatan disebutkan bahwa DIY mengemban amanat sbb:

- a) PKN Yogyakarta berfungsi sebagai pengembangan PKN dan PKW sebagai pusat penelitian dan pengembangan pertanian tanaman pangan.
- b) PKN Yogyakarta harus mengendalikan perkembangan PKN dan PKW melalui optimalisasi pemanfaatan ruang secara kompak dan vertikal sesuai dengan daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup.
- c) PKN Yogyakarta dan PKW Sleman merupakan kawasan rawan erupsi gunung berapi.
- d) PKN Yogyakarta sebagai pusat kegiatan industri kreatif yang berdaya saing dan ramah lingkungan.
- e) Pengembangan PKN Yogyakarta sebagai pusat perdagangan dan jasa yang berskala internasional sesuai dengan daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup.
- f) PKN Yogyakarta berfungsi sebagai pusat pariwisata cagar budaya dan ilmu pengetahuan.
- g) PKW Bantul berfungsi sebagai pusat pariwisata bahari.
- h) PKN Yogyakarta berfungsi sebagai pusat penyelenggaraan pertemuan, perjalanan insentif, konferensi, dan pameran.

- i) PKN Yogyakarta, PKW Bantul dan PKW Sleman harus mengembangkan PKN dan PKW dengan konsep kota hijau yang hemat energi, air, lahan dan minim limbah.

Selanjutnya pada Pasal tentang Pola Ruang dalam RTRWN disebutkan :

Kabupaten Bantul, Kabupaten Gunungkidul termasuk dalam wilayah **Pengembangan sentra perikanan tangkap dan perikanan budi daya** yang didukung peningkatan **fungsi industri pengolahan hasil perikanan** serta prasarana dan sarana yang ramah lingkungan.

Dalam dokumen Rencana Pembangunan Jangka Panjang (RPJP) DIY yang merupakan dokumen perencanaan pembangunan daerah untuk periode 20 tahun. Di dalamnya memuat visi, misi, serta arah kebijakan yang digunakan sebagai dasar perencanaan, pelaksanaan, dan evaluasi pembangunan daerah. Rencana Pembangunan Jangka Panjang DIY tahun 2005-2025 termuat dalam Peraturan DIY Nomor 2 Tahun 2009 dan merupakan salah satu dasar hukum penyusunan peninjauan kembali Rencana Tata Ruang Wilayah DIY tahun 2009-2029. Dengan demikian hasil peninjauan kembali dan penyusunan rencana tata ruang yang baru dapat mendukung perwujudan Rencana Pembangunan Jangka Panjang DIY tahun 2005-2025.

Dasar filosofi pembangunan DIY adalah *Hamemayu Hayuning Bawana*. *Hamemayu Hayuning Bawana* bermakna kewajiban melindungi, memelihara, dan membina keselamatan dunia. Dunia yang dimaksud mencakup keluarga, masyarakat, serta lingkungan hidup dengan mengutamakan kehidupan banyak orang, tidak mementingkan diri sendiri. *Hamemayu Hayuning Bawana* menjadi cita-cita luhur mewujudkan kehidupan masyarakat DIY yang berkelanjutan berdasarkan nilai budaya. Budaya yang ada bertujuan untuk mewujudkan masyarakat yang gemah ripah loh jinawi, ayem, tata, titi, tentrem, kerta raharja, yaitu budaya yang bermuara pada kehidupan masyarakat yang damai. Filosofi *Hamemayu Hayuning Bawana* sebagai dasar pembangunan juga menjadi dasar penyusunan dokumen perencanaan lainnya, termasuk Rencana Tata Ruang Wilayah DIY.

Visi pembangunan DIY yang akan dicapai pada tahun 2025 adalah DIY sebagai Pusat Pendidikan, Budaya, dan Daerah Tujuan Wisata Terkemuka di Asia Tenggara dalam Lingkungan Masyarakat yang Maju, Mandiri, dan Sejahtera. Dari enam inti visi, yang terkait dengan pembangunan Maritim di DIY dapat dijelaskan sebagai berikut: sebagai daerah tujuan wisata terkemuka yaitu DIY di masa depan merupakan daerah tujuan wisata nasional maupun internasional karena memiliki daya tarik tersendiri dengan tetap menjunjung tinggi nilai moralitas, khususnya Wisata Bahari.

Untuk mewujudkan visi tersebut, maka ditempuh melalui 4 misi pembangunan daerah yang dijabarkan dalam arah pembangunan. Misi dan arah pembangunan DIY yang termuat dalam Rencana Pembangunan Jangka Panjang antara lain mewujudkan kepariwisataan bahari yang kreatif dan inovatif, melalui:

- Facilitasi dan pembangunan kawasan wisata bahari dengan basis budaya dan pelestarian lingkungan dalam kerangka pemberdayaan masyarakat;
- Peningkatan kualitas SDM pelaku pariwisata bahari yang memiliki keunggulan daya saing;
- Pengembangan wisata edukasi bahari secara komprehensif dan terpadu antar sektor;
- Optimalisasi aset wisata bahari melalui peningkatan kerjasama yang harmonis antarpemangku kepentingan (*stakeholders*);
- Pengembangan jejaring baik di dalam negeri maupun di luar negeri;
- Inovasi pengembangan obyek wisata bahari maupun paket wisata yang mampu bersaing di pasar global termasuk di dalamnya wisata *Meeting, Incentive, Conference, dan Exhibition (MICE)*;
- Pengembangan yang terpadu dalam bidang *Trade, Tourism, dan Investment (TTI)*;
- Pengembangan minawisata secara profesional;
- Menumbuhkan dan mengembangkan wisata minat khusus maritim dan potensi alam pantai untuk menjaring wisatawan dalam dan luar negeri;
- Peningkatan daya saing pariwisata daerah yang ditandai dengan kenaikan pertumbuhan wisatawan tiap tahun (*growth oriented*).

Latarbelakang tersebut menjadi dasar arti pentingnya mengkaji Konsep Tata Ruang DIY “Among Tani Dagang Layar” dalam Pembangunan Kawasan Wisata Bahari di Pesisir Pantai Selatan DIY.

1.2 Rumusan Masalah

Perencanaan Kawasan Wisata Bahari seperti apakah yang relevan dengan kondisi Wilayah DIY dalam rangka mendukung pembangunan berwawasan Maritim dan Konsep Among Tani Dagang Layar ?

1.3 Tujuan dan Sasaran

Tujuan kajian ini adalah untuk melihat kesesuaian antara perencanaan kawasan dengan Tata Ruang Wilayah DIY, perkembangan serta permasalahan yang terjadi khususnya terkait dengan pembangunan berwawasan kemaritiman terkait konsep “Among Tani Dagang Layar”. Untuk mencapai tujuan tersebut, sasaran yang ditetapkan adalah mengetahui pembangunan kawasan wisata bahari yang relevan/sesuai antara perencanaan tata ruang wilayah dengan perkembangan yang terjadi, serta kebijakan dan peraturan yang berlaku.

1.4 Metodologi

Kajian ini dilakukan melalui tahapan sebagai berikut: menetapkan permasalahan yang relevan, mengumpulkan data baik data primer dan data sekunder, melakukan kajian terhadap isu penataan ruang terkait pembangunan kemaritiman yang diajukan sebagai permasalahan. Pembahasan menggunakan metode pendekatan yuridis normatif dan empiris. Pendekatan penelitian ini untuk memahami konsep rencana tata ruang wilayah secara komprehensif untuk selanjutnya dikaitkan relevansinya dengan pembangunan kemaritiman, khususnya kawasan wisata bahari.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut hasil penelitian Asyiwati (2007) Pengembangan obyek wisata bahari di Kawasan Pesisir Pantai Selatan DIY dapat dilakukan dengan 1) Implementasi kebijakan pengembangan pariwisata berdasarkan hasil studi pengembangan obyek wisata yang pernah dilakukan lembaga terkait, 2) Strategi promosi dengan penerapan teknologi informasi melalui media elektronik terutama internet dengan membuka situs pariwisata, 3) Implementasi Sapta Pesona Pariwisata (aman, indah, tertib, bersih, ramah-tamah dan kenangan), 4) Pemulihan kondisi ekonomi nasional dan jaminan keamanan dan kenyamanan berwisata, 5) Menambah event-event wisata dan diversifikasi produk wisata, aspek kelestarian lingkungan dan pembenahan fasilitas dan akses obyek wisata dan penataan lingkungan sekitar pantai.

Pengembangan kawasan Pantai Selatan DIY juga perlu mempertimbangkan kondisi geomorfologi lahan, sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Triyono (2015) bahwa kawasan pesisir Parangtritis sebagai contoh fenomena litoralisasi dikaji untuk dapat diterapkan di seluruh pesisir Indonesia dengan memperhatikan karakter fisik, sosial ekonomi, dan penggunaan lahan.

Perencanaan kawasan wisata bahari di pesisir pantai Selatan DIY sudah terakomodasi dalam Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (RZWP3K) DIY tahun 2011-2030, dan diatur dalam Peraturan Daerah DIY Nomor 16 Tahun 2011. RZWP3K adalah kebijakan Pemda DIY yang menentukan arah penggunaan sumber daya tiap-tiap satuan perencanaan disertai dengan penetapan struktur dan pola ruang. Ruang lingkup pengaturan RZWP3K meliputi:

- a) Daerah peralihan antara ekosistem darat dan laut yang dipengaruhi oleh perubahan di darat dan laut
- b) Ke arah darat mencakup wilayah administrasi kecamatan
- c) Ke arah laut sejauh 12 mil laut diukur dari garis pantai.

Tujuan dari RZWP3K adalah:

- a) Melindungi, mengkonservasi, merehabilitasi, memanfaatkan dan memperkaya sumber daya serta sistem ekologisnya secara berkelanjutan
- b) Menciptakan keharmonisan dan sinergi antara Pemerintah, Pemerintah Daerah, dan Pemerintah Kabupaten dalam pengelolaan sumber daya
- c) Memperkuat peran serta masyarakat dan lembaga pemerintah serta mendorong inisiatif masyarakat dalam pengelolaan sumber daya agar tercapai keadilan, keseimbangan dan keberlanjutan
- d) Meningkatkan nilai sosial, ekonomi dan budaya masyarakat melalui peran serta masyarakat dalam pemanfaatan sumber daya.

RZWP3K DIY yang memiliki jangka waktu 20 tahun memiliki fungsi sebagai dasar perencanaan pengembangan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil, pemanfaatan ruang wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil dan pengendalian pemanfaatan ruang dalam penataan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil di DIY. Rencana struktur ruang wilayah pesisir terdiri atas rencana pengembangan sistem pusat-pusat pelayanan dan pertumbuhan, sistem jaringan prasarana wilayah dan minapolitan. Arah pengembangan sistem pusat-pusat pelayanan dan pertumbuhan sebagai berikut:

- a) Perkotaan Wates sebagai Pusat Kegiatan Wilayah Promosi (PKWp)
- b) Panggang, Sanden dan Srandakan sebagai Pusat Kegiatan Lokal (PKL)
- c) Pantai Karangwuni - Glagah sebagai pusat pertumbuhan wilayah pesisir Kabupaten Kulon Progo dengan kegiatan utama perikanan tangkap dan kegiatan pendukung wisata dan pertanian
- d) Pantai Pandansimo sebagai pusat pertumbuhan wilayah pesisir Kabupaten Bantul dengan kegiatan utama perikanan tangkap dan wisata bahari serta kegiatan pendukung pertanian dan wisata *resort*
- e) Pantai Baron sebagai pusat pertumbuhan wilayah pesisir Kabupaten Gunungkidul Bagian Barat dengan kegiatan utama perikanan tangkap dan wisata bahari serta kegiatan pendukung pertanian dan wisata *resort*
- f) Pantai Sadeng sebagai pusat pertumbuhan wilayah pesisir Kabupaten Gunungkidul bagian timur dengan kegiatan utama perikanan tangkap dan kegiatan pendukung wisata dan pertanian.
- g) Arah pengembangan minapolitan meliputi:
- h) Menetapkan minapolitan perikanan tangkap di Sadeng
- i) Menetapkan minapolitan perikanan budi daya di Kecamatan Wates
- j) Melakukan pemberdayaan masyarakat pelaku minabisnis di kawasan minapolitan Sadeng dan Wates
- k) Meningkatkan minabisnis komoditas unggulan lokal

- l) Mengembangkan kelembagaan keuangan di kawasan minapolitan
- m) Mengembangkan kelembagaan penyuluhan perikanan
- n) Meningkatkan perdagangan/pemasaran termasuk pengembangan terminal/subterminal minabisnis dan pusat lelang hasil perikanan
- o) Mengembangkan pendidikan perikanan untuk generasi muda
- p) Mengembangkan teknologi tepat guna di kawasan minapolitan.

Selanjutnya rencana pola ruang wilayah pesisir mengatur zona-zona sebagai berikut:

- a) Kawasan pemanfaatan umum, meliputi zona hutan, zona pertanian, zona perikanan budi daya, zona perikanan tangkap, zona pelabuhan, zona pertambangan, zona industri, zona pariwisata dan zona permukiman.
- b) Kawasan konservasi meliputi zona konservasi pesisir, zona konservasi maritim, zona konservasi perairan, zona sempadan pantai dan zona rawan bencana.
- c) Kawasan strategis nasional tertentu meliputi zona instalasi militer dan zona situs warisan dunia.
- d) Alur laut, meliputi zona alur pelayaran dan zona alur migrasi biota laut.

Potensi wisata bahari yang terdapat di DIY dan kebijakan yang terkait antara lain:

a. Gumuk Pasir

Gumuk pasir, merupakan bahan langka dan unik yang menjadi salah satu ikon keistimewaan DIY. Pembentukan gumuk pasir di kawasan Parangtritis merupakan bentukan alam yang perlu dilestarikan, karena fungsi dan potensinya. Gumuk pasir memiliki potensi sebagai berikut: Kawasan perlindungan dari ancaman bencana tsunami, karena kekasaran reliefnya dan permeabilitas material penyusunnya; Kawasan perlindungan dari pencemaran akibat intrusi air asin, karena lensa air tanahnya; serta Kawasan perkembangbiakan alami bagi penyu laut. Selain memiliki potensi besar, gumuk pasir juga memiliki kerentanan terhadap beberapa hal khususnya tindakan manusia. Tindakan manusia merupakan ancaman paling berbahaya bagi gumuk pasir. Hal tersebut membuat gumuk pasir menjadi ekosistem rapuh. Gumuk pasir terdiri dari zona inti, zona terbatas, dan zona penunjang/peruntukan lainnya. Masing-masing zona memiliki fungsi tertentu. Hal tersebut berimplikasi pada jenis kegiatan atau pemanfaatan yang diperbolehkan di zona tersebut. Zona inti hanya diperbolehkan untuk wisata minat khusus. Zona terbatas diperbolehkan untuk permukiman kepadatan sedang, pariwisata, fasilitas umum, serta perdagangan dan jasa. Sementara zona penunjang/peruntukan lainnya diperbolehkan untuk kegiatan perkantoran, hutan pantai, pariwisata, tanaman hortikultura, serta perdagangan dan jasa.

b. Transportasi laut

Transportasi laut di DIY pada dasarnya hanya digunakan untuk transportasi nelayan untuk menangkap hasil laut. Sangat jarang pantai selatan di DIY digunakan untuk pergerakan barang atau penumpang. Arahkan pengembangan transportasi laut bagi pergerakan penumpang dan barang di masa yang akan datang juga belum diperlukan karena laut selatan DIY tidak dilewati pendulum nusantara. Menurut Rute Logistik Indonesia di masa yang akan datang, Pendulum Nusantara hanya melewati bagian utara Pulau Jawa dengan 7 (tujuh) pelabuhan utama, yaitu Pelabuhan Kuala Tanjung, Pelabuhan Batam, Pelabuhan Tanjung Priok, Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Makassar, Pelabuhan Bitung, dan Pelabuhan Sorong.

Dengan demikian akan sangat sulit mengarahkan kapal-kapal untuk singgah di wilayah DIY yang kawasan pesisirnya berada di selatan Pulau Jawa. Komoditi-komoditi yang dihasilkan wilayah DIY diarahkan untuk didistribusikan ke Semarang (salah satu wilayah yang dilewati pendulum nusantara sebagai pelabuhan utama). Distribusi komoditi ke Semarang tersebut dapat melalui jalur darat ataupun jalur udara, yaitu melalui bandara baru yang telah direncanakan dibangun di Temon, Kulon Progo. Namun demikian, adanya potensi perikanan yang besar perlu difasilitasi dengan pengembangan pelabuhan perikanan di wilayah pesisir DIY. Potensi hasil laut di Samudra Indonesia mencapai 905.350 ton/tahun. Untuk itu diperlukan pengembangan pelabuhan-pelabuhan nelayan di sepanjang pantai selatan. Keberadaan pelabuhan perikanan akan menjadi tulang punggung seluruh nelayan sepanjang pantai DIY. Di samping itu, kegiatan pariwisata pun akan berkembang, karena memang pelabuhan ini dirancang tidak hanya untuk mendukung kegiatan nelayan namun juga untuk kegiatan pariwisata pantai selatan DIY. Disadari bahwa gelombang laut di DIY tinggi dan membahayakan. Dengan adanya pelabuhan ini, diharapkan mampu menjaga keselamatan nelayan dan mampu meningkatkan produksi hasil laut.

c. Kawasan Keistimewaan DIY Pendukung Pembangunan Kemaritiman

Efek dari ditetapkannya Undang-Undang Nomor 13 tahun 2012 tentang Keistimewaan DIY adalah penunjukan beberapa kawasan yang menjadi kawasan keistimewaan. Kawasan-kawasan ini merupakan kawasan yang memiliki nilai budaya ragawi (*tangible*) dan non ragawi (*intangible*). Beberapa dari kawasan ini sudah ditetapkan menjadi kawasan cagar budaya dan beberapa masih menjadi usulan. Kawasan-kawasan cagar budaya yang telah ditetapkan dalam SK Gubernur DIY Nomor 186 Tahun 2011 tentang Kawasan Cagar Budaya adalah Kawasan Kraton, Kawasan Pakualaman, Kawasan Kotagede, Kawasan Kota Baru, Kawasan Malioboro, dan

Kawasan Imogiri. Selanjutnya terdapat 29 kawasan lainnya yang diusulkan sebagai kawasan budaya maupun kawasan pusaka berdasarkan Rencana Induk Kawasan Budaya Perkotaan Yogyakarta Tahun 2030, Kawasan Pusaka di DIY, serta Perda Penataan Ruang DIY. Berikut ini tabel penetapan serta usulan kawasan keistimewaan dari berbagai sumber tersebut.

a) Kawasan Pantai Parangkusumo

Pantai Parangkusumo adalah salah satu pantai yang disakralkan karena dianggap sebagai gerbang utama menuju “kraton Laut Selatan”. Parangkusumo merupakan pantai di Kabupaten Bantul yang memiliki cerita mengenai pertemuan Panembahan Senopati dan Nyi Roro Kidul. Lokasi pertemuan ini kemudian disebut Sela Gilang Parangkusumo dan masih terjaga sampai sekarang. Sebagai bentuk penghormatan, setiap tanggal 30 Rajab digelar labuhan di Parangkusumo. Labuhan ini bernama Labuhan Alit. Upacara Labuhan Alit dimulai dengan pasrah penampi atau penyerahan sesaji yang dilakukan oleh seorang abdi dalem kraton berupa pakaian Sultan, potongan kuku dan rambut milik Sultan selama satu tahun dan uba rampe lainnya kepada Bupati Bantul di halaman Kantor Kecamatan Kretek. Sesaji ini kemudian dibawa ke Cepuri Parangkusumo untuk didoakan sebelum dilarung ke Laut Selatan.

b) Kawasan Pantai Glagah

Pantai Glagah terletak di Desa Glagah, Kecamatan Temon, Kabupaten Kulon Progo., kurang lebih 15 km dari Kota Wates. Di kawasan Glagah terdapat peninggalan bersejarah berupa stupa yang terbuat dari batu andesit, yaitu di Desa Sidorejo. Dilihat dari aspek perilaku budaya maka Kawasan Pantai Glagah memiliki nilai keistimewaan yang berupa kebiasaan, adat istiadat, dan aktifitas yang mencerminkan nilai budaya berupa Upacara Labuhan Glagah. Puro Pakualaman melakukan Upacara Labuhan Glagah secara rutin setiap tanggal 10 Suro. Labuhan merupakan wujud syukur keluarga besar Puro Pakualaman kepada Tuhan atas limpahan rezeki, kesehatan, dan keselamatan, dan kesejahteraan yang telah diberikan kepada masyarakat DIY. Upacara ini biasanya dihadiri oleh kerabat Puro serta perwakilan SKPD di DIY. Selain itu masyarakat di sekitar Kawasan Pantai Glagah juga turut meramaikan upacara labuhan ini. Ritual labuhan diawali dengan upacara kecil di Pesanggrahan Puro Pakualaman dengan *uborampe* berupa 3 gunung, yaitu gunung dari buah-buahan dan umbi-umbian, gunung dari padi-padian, dan gunung *pengagem* yang dibuat dari kain dan selendang. Selanjutnya dilakukan arak-arakan menuju Pantai Galagah yang berjarak 2 km dari Pesanggrahan Puro Pakualaman. *Uborampe* berupa 3 gunung *dilarung* di Pantai Glagah dan menjadi rebutan oleh para pengunjung. Terdapat keyakinan apabila mendapatkan bagian *uborampe* yang telah didoakan dalam labuhan maka akan mendapatkan berkah kebaikan.

Saat ini Pantai Glagah telah menjadi salah satu destinasi wisata di Kabupaten Kulon Progo dengan obyek wisata berupa dermaga wisata, laguna, area pemancingan, dan agrowisata Buah Naga dan Buah Roselle. Di Pantai Glagah, pengunjung dapat menikmati pemandangan dari gardu pandang di obyek dermaga wisata. Pada obyek wisata laguna, pengunjung dapat menikmati suasana pantai dengan menaiki perahu motor atau dengan perahu dayung. Selain itu di laguna ini juga pengunjung dapat melakukan olahraga renang. Pantai Galagah yang memiliki kekayaan hasil laut dimanfaatkan warga sekitar untuk memancing sehingga pengunjung pantai juga dapat bergabung untuk memancing sembari menikmati pemandangan laut.

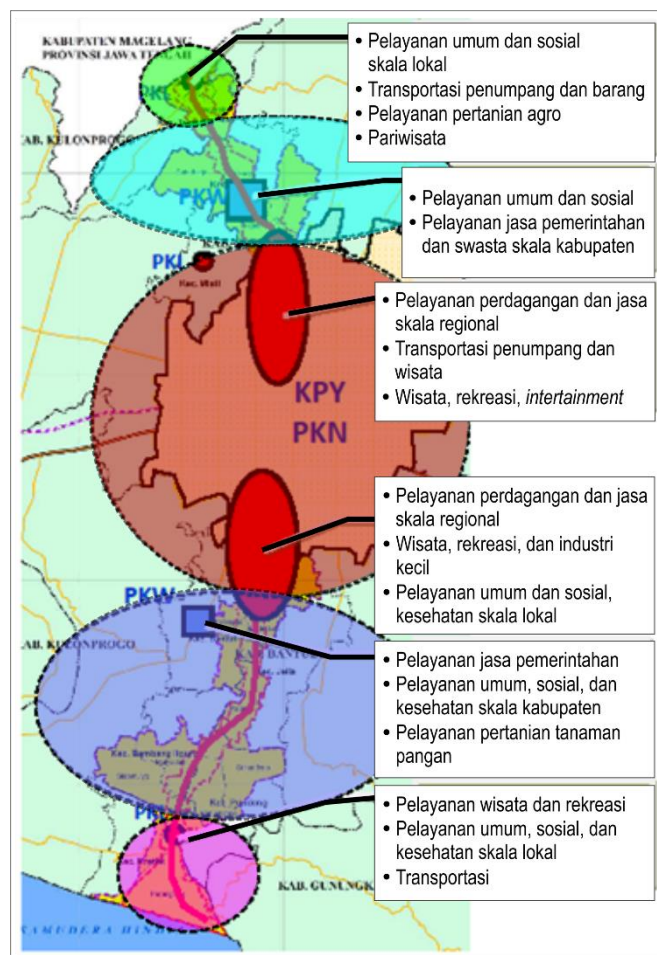
c) Kawasan Gumuk Pasir Parangtritis

Kawasan Parangtritis merupakan suatu kawasan permukiman pantai yang terletak kurang lebih 30 km di sebelah selatan Kota Yogyakarta dan berada di tepi laut selatan (Samudra Indonesia). Kawasan Parangtritis termasuk dalam wilayah administrasi Kabupaten Bantul. Sejarah Parangtritis dimulai oleh seorang tokoh pelarian dari Majapahit yang bernama Dipokusumo yang membangun padepokan di atas bukit. Di dekat padepokan tersebut terdapat sebuah goa yang di depannya terdapat air mengalir yang jatuh dari ketinggian kaki bukit meluncur ke arah batu di bawahnya. Hal ini diabadikan oleh Dipokusumo menjadi sebuah nama Parangtritis. Secara etimologis, Parangtritis berasal dari kata *parang* dan *tumaritis*, *parang* berarti batu dan *tumaritis* berarti air yang mengalir jatuh. Adanya fenomena alam berupa gundukan pasir yang disebut gumuk pasir menambah keunikan Kawasan Parangtritis. Istilah *gumuk* berasal dari bahasa Jawa yang berarti gundukan atau sesuatu yang menyembul dari permukaan yang datar. Partikel pasir yang ada berasal dari material vulkanik Gunung Merapi yang dibawa aliran Sungai Opak dan Sungai Progo menuju laut selatan. Di muara, material tersebut dihantam gelombang Samudra Indonesia sehingga tergerus menjadi butiran pasir yang halus. Pasir ini diterbangkan angin laut ke daratan dan terus bergerak akibat hembusan angin. Selanjutnya pasir ini membentuk gundukan-gundukan dan menghasilkan fenomena gumuk pasir. Pembentukan gumuk pasir merupakan proses alam yang memakan waktu ribuan tahun sehingga perlu dilestarikan.

Saat ini Kawasan Parangtritis dimanfaatkan untuk kegiatan pariwisata. Pengunjung dapat bermain ombak dan pasir atau duduk-duduk menikmati pemandangan pantai. Pemandangan Pantai Prangtritis dapat dinikmati juga dari bukit kecil di sisi utara pantai. Keberadaan gumuk pasir juga menjadi daya tarik tersendiri bagi wisatawan. Hal tersebut dikarenakan keunikan gumuk pasir yang sangat langka dan menjadi satu-satunya di Indonesia. Bukan hanya wisatawan, para ilmuwan dari berbagai negara juga sering mengunjungi kawasan gumuk pasir ini.

Selain itu, pengembangan kegiatan ekonomi Kabupaten Gunungkidul juga dilakukan dengan pengembangan pariwisata. Kabupaten Gunungkidul bersama Kabupaten Kulon Progo dan Kabupaten Bantul memiliki potensi pariwisata pantai. Kawasan pantai tersebut antara lain Pantai Congot, Glagah, Bugel, Trisik, Kuwaru, Samas, Depok, Parangtritis, Ngobaran, Ngrehenan, Baron, Kukup, Drini, Sundak, Krakal, Siung, Wedi Ombo, Jungwok, Ngungap, dan Sadeng.

Kegiatan ekonomi di Koridor Tempel-Parangtritis berpotensi dilakukan dengan adanya obyek strategis berupa Jalan Arteri Yogyakarta-Magelang-Semarang dan Jalan Kolektor Yogyakarta-Parangtritis. Koridor ini dapat dibagi menjadi 2 segmen, yaitu Segmen Sleman dan Segmen Bantul. Segmen wilayah Sleman direkomendasikan untuk kegiatan perdagangan, jasa dan pariwisata. Sektor yang telah berkembang berupa sektor perdagangan, jasa, dan pertanian. Selain kegiatan tersebut, segmen ini memiliki kegiatan industri (aneka industri) dan industri kecil (industri olahan pertanian). Sementara itu, Segmen Bantul juga direkomendasikan untuk kegiatan perdagangan dan jasa dan pariwisata. Sektor ini telah berkembang di Desa Bangunharjo, Kecamatan Sewon. Kegiatan lain yang berkembang berupa usaha skala kecil mikro, meliputi industri gerabah pemasaran hasil industri kecil. Industri kayu berada di Desa Bangunharjo, Kecamatan Sewon, sedangkan industri kecil Manding dan Pasar Seni Gabusan berada di Desa Sabdodadi, Kecamatan Bantul. Kegiatan Pariwisata yang telah berkembang berupa pariwisata pantai, yaitu Pantai Parangtritis, Pantai Parangkusumo, dan Pantai Depok. Berikut ini gambaran arah pengembangan Koridor Tempel-Parangtritis.



Gambar 1. Arah Pengembangan Koridor Tempel-Parangtritis DIY

Selain koridor Temon-Prambanan dan Tempel Parangtritis, adanya potensi kawasan selatan sebagai koridor pengembangan ekonomi juga perlu diakomodasi. Namun, fungsi kawasan selatan sebagai daerah lindung harus tetap menjadi prioritas sehingga dalam pengembangan ekonominya harus menjaga kelestarian lingkungan. Koridor ekonomi di wilayah selatan DIY melewati Kabupaten Kulon Progo, Kabupaten Bantul, dan Kabupaten Gunungkidul. Potensi yang ada di kawasan selatan meliputi potensi pariwisata, perikanan, dan pertambangan. Potensi pariwisata berupa pariwisata pantai yang tersebar di sepanjang wilayah selatan ini, seperti Pantai Glagah dan Pantai Trisik di Kabupaten Kulon Progo, Pantai Parangtritis, Pantai Parangkusumo, dan Pantai Depok di Kabupaten Bantul, serta Pantai Krakal, Pantai Indrayanti, dan Pantai Sadeng di Kabupaten Gunungkidul. Potensi perikanan di kawasan selatan didukung dengan dibangunnya Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI) Tanjung

Adikarto. Potensi tambang ditunjukkan dengan keberadaan pasir besi dan pabrik pengolahannya di Kabupaten Kulon Progo. Selain itu adanya rencana pembangunan bandara di Temon, Kulon Progo juga menjadikan kawasan selatan berpotensi dikembangkan untuk *Airport City*. Di sisi lain, terdapat potensi budaya di kawasan selatan dengan adanya upacara-upacara adat seperti labuhan.

Perikanan merupakan salah satu subsektor pertanian yang dapat dikembangkan di DIY. Hal tersebut dapat dilihat dari kontribusi subsektor perikanan terhadap sektor pertanian yang terus meningkat dari tahun 2008 hingga tahun 2011. Berikut ini tabel Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) Atas Dasar Harga Konstan (ADHK) subsektor pertanian DIY dan laju pertumbuhannya tahun 2008 hingga tahun 2011.

Tabel 1. Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) Atas Dasar Harga Konstan (ADHK) Subsektor Pertanian DIY dan Laju Pertumbuhannya Tahun 2008-2011

No	Subsektor Pertanian	PDRB (Juta Rupiah)				Laju Pertumbuhan (%)
		2008	2009	2010	2011	
1	Tanaman bahan makanan	4,419,013	4,652,257	4,817,985	5,348,388	6.57
2	Tanaman perkebunan	149,666	139,878	147,300	173,453	5.04
3	Peternakan	889,911	987,858	1,067,708	1,204,853	10.63
4	Kehutanan	385,215	419,458	430,726	450,657	5.37
5	Perikanan	149,976	167,320	180,976	196,501	9.42
	Jumlah	5,993,781	6,366,771	6,644,695	7,373,852	7.15

Dilihat dari laju pertumbuhannya maka subsektor peternakan dan subsektor perikanan memiliki nilai laju pertumbuhan yang tinggi, masing-masing sebesar 10,63% dan 9,42%. Subsektor-subsektor ini potensial untuk dikembangkan, khususnya subsektor perikanan. Dengan dibuka dan dikembangkannya kawasan selatan maka perikanan laut dapat turut dikembangkan. Apalagi dengan adanya fasilitas berupa Pangkalan Pendaratan Ikan Tanjung Adikarta di Kabupaten Kulon Progo dan Pelabuhan Perikanan Pantai (PPP) Sadeng di Kabupaten Gunungkidul maka subsektor perikanan DIY dapat meningkatkan produksinya. Berdasarkan DIY dalam Angka Tahun 2013, produksi perikanan tahun 2012 telah mencapai 52.814,90 ton dan telah meningkat sebesar 8,91% bila dibandingkan produksi tahun 2011 yaitu 48.495,04 ton. Hasil ini didominasi oleh perikanan darat yaitu mencapai 95,10%, sedangkan perikanan laut hanya sebesar 4,90%.

Wilayah perikanan tangkap DIY masuk dalam WPP-RI 573. Wilayah yang termasuk WPP-RI 573 adalah Samudra Hindia sebelah Selatan Jawa hingga sebelah Selatan Nusa Tenggara, Laut Sawu dan Laut Timor bagian Barat. Kapal nelayan yang sudah berlayar melebihi 4 mil berarti sudah masuk dalam WPP-RI 573 dan bebas berlayar dan menangkap ikan di sepanjang wilayah tersebut. Hal tersebut berarti nelayan DIY dapat menangkap ikan di seluruh WPP-RI 573. Jenis sumber daya ikan yang terdapat di WPP-RI 573 adalah ikan pelagis besar, pelagis kecil, demersal, udang penaeid, ikan karang konsumsi, lobster, dan cumi-cumi. Untuk memanfaatkan potensi ikan yang besar di WPP-RI 573, nelayan DIY harus memiliki kapal besar yang dapat menjangkau semua wilayah WPP. Potensi sumber daya ikan di WPP-RI 573 sangat melimpah, diestimasi mencapai 491,7 ribu ton per tahun. Sumber daya ikan terbesar berupa Ikan Pelagis Kecil dengan estimasi 210,6 ribu ton per tahun, Ikan Pelagis Besar dengan potensi 201,4 ribu ton per tahun, serta Ikan Demersial dengan estimasi sebesar 66,2 ribu ton per tahun. Sumber daya ikan lainnya berupa Udang Penaeid, Ikan Karang Konsumsi, Lobster, dan Cumi-Cumi yang mencapai 13,5 ribu ton per tahun. Pada tahun 2010 stok beberapa sumber daya ikan di WPP-RI 573 telah tereksplorasi secara penuh dan bahkan telah berlebihan, yaitu pada sumber daya Ikan Pelagis Kecil dan Udang Penaeid, serta ikan lainnya seperti Lemuru, Kakap Merah, Kuwe, Albakora, Madidihang, dan Ikan Mata Besar.

Limpahan sumber daya perikanan di WPP-RI 573 akan berpengaruh positif terhadap subsektor perikanan di DIY. Namun demikian, penangkapan ikan secara ilegal yang merusak habitat perairan laut harus dihindari untuk menjaga keberlanjutan ketersediaan sumber daya ikan di WPP-RI 573. Selain itu keberadaan potensi sumber daya ikan yang saat ini telah tereksplorasi penuh perlu menjadi perhatian sehingga jenis ikan tersebut tidak mengalami kepunahan. Dalam hal penangkapan sumber daya ikan juga perlu disusun rencana serta maksimal jumlah penangkapan per tahunnya untuk menjaga kelestarian sumber daya laut.

Strategi dalam RTRW DIY Tahun 2009-2029 yang dilakukan oleh Dinas Kelautan dan Perikanan (DISLAUTKAN) adalah strategi perwujudan pelabuhan laut, pengembangan sumber daya air dan irigasi, serta rehabilitasi dan pengembangan kawasan pariwisata. Untuk program yang terlaksana dari tahun 2012 sampai dengan tahun 2014 ada 3 program yang terlaksana. Untuk kegiatan-kegiatan yang dilakukan oleh Dislautkan berupa pengembangan-pengembangan pelabuhan serta pengembangan pariwisata pesisir. Berikut ini tabel program terlaksana Dinas Kelautan dan Perikanan DIY tahun 2012 hingga tahun 2014.

Tabel 2. Program Terlaksana Dinas Kelautan dan Perikanan DIY Tahun 2012-2014

Nama SKPD	Program Terlaksana	Tahun Pelaksanaan
Dinas Kelautan dan Perikanan	Pengembangan Pelabuhan Sadeng, Kab. Gunungkidul, menjadi Pelabuhan Perikanan Pantai	2012
	Pengembangan Pelabuhan Glagah, Kab. Kulonprogo, menjadi Pelabuhan Perikanan Pantai	2012
	Pengembangan Kawasan Depok, Kab. Bantul, sebagai Wisata Pantai dan Kuliner Ikan	2014

Perkembangan wilayah dan implikasi terhadap Rencana Tata Ruang terkait kependudukan, ekonomi, guna lahan, serta infrastruktur selama kurun Wilayah DIY Tahun 2009-2029 tersebut dirangkum dalam tabel berikut ini.

Tabel 3. Implikasi Perkembangan Wilayah terhadap Rencana Tata Ruang Wilayah DIY Tahun 2009-2029

Topik	Perkembangan yang Terjadi	Implikasi ke RTRW DIY Tahun 2009-2029
Transportasi laut	Pada dasarnya pengembangan transportasi laut di DIY kurang potensial karena pantai selatan DIY tidak dilewati oleh Pendulum Nusantara. Dengan demikian pengembangan wilayah selatan DIY hanya untuk perikanan. Pengembangan pelabuhan nelayan Glagah-Karangwuni dan Sadeng salah satunya, akan menjadi salah satu fasilitas yang mampu mendukung kegiatan nelayan. Namun perlu ditambahkan pengembangan pelabuhan perikanan lainnya karena terkait potensi pengembangan sektor perikanan.	Perlunya penyesuaian rencana pengembangan pelabuhan perikanan di DIY

Kawasan Strategis Kepentingan Pusat Pengelolaan Hasil Laut dan Pengembangan Kawasan Pesisir

a. Kawasan Strategis Provinsi Pantai Depok, Pantai Samas, Pantai Kuwaru, dan Pantai Pandansimo di Kabupaten Bantul

Pada kawasan pantai selatan Kabupaten Bantul ditetapkan sebagai Kawasan Strategis Provinsi sebagai kawasan pengelolaan hasil laut dan pengembangan pesisir yang terdapat pada Pantai Depok, Pantai Samas, Pantai Kuwaru, dan Pantai Pandansimo. Pantai Depok merupakan pantai dengan tujuan wisata kuliner bahari yang cukup terkenal di DIY. Di pantai tersebut terdapat sebuah tempat pelelangan ikan serta komplek warung makan dari hasil tangkapan ikan. Melihat kondisi saat ini, tingkat produksi ikan tangkap di tempat pelelangan ikan Pantai Depok belum memenuhi kebutuhan pasar, yakni pada tahun 2013 produksi ikan tangkap hanya mencapai sekitar 70 ton per tahun sedangkan kebutuhan pasar menargetkan 400 ton dalam satu tahun.

Pada Pantai Samas sedang dalam proses pembangunan tempat pelelangan ikan, sebab tempat pelelangan ikan yang sebelumnya telah rusak akibat gelombang tinggi air laut. Untuk produksi ikan di TPI Samas juga belum memenuhi target pasar, sebab terkendala berbagai faktor mulai dari faktor cuaca, fasilitas penangkapan ikan yang terbatas, hingga kesejahteraan nelayan yang masih belum terpenuhi.

Pantai Kuwaru merupakan salah satu TPI yang ada di wilayah Kabupaten Bantul. Disamping sebagai pantai nelayan, pada Pantai Kuwaru telah berkembang pariwisata pantai dengan tersedianya berbagai fasilitas rekreasi. Berdasarkan data yang didapat dari Dinas Kelautan Perikanan Kabupaten Bantul, produksi perikanan tangkap yang dihasilkan oleh nelayan di Pantai Kuwaru kurang lebih 26 ton per tahun dengan berbagai komoditas ikan seperti ikan keting, ikan hiu, ikan pari, ikan layout, ikan bawal, serta berbagai jenis ikan lainnya. Jumlah nelayan di Pantai Kuwaru relatif sedikit, yakni 68 orang dan dengan fasilitas yang terbatas pada TPI Kuwaru maka produktivitas perikanan tangkap tidak optimal.

Pantai Pandansimo berkembang menjadi lokasi wisata pantai yang ramai dikunjungi oleh wisatawan. Sebelumnya pada pantai tersebut hanya sebagai desa nelayan karena terdapat tempat pelelangan ikan dan sejumlah nelayan yang saat ini berjumlah kurang lebih 66 orang. Produktivitas perikanan tangkap yang didapat pada TPI Pandansimo kurang lebih 144 ton per tahun. Jumlah tersebut masih terbilang sedikit, sebab fasilitas nelayan pada TPI Pandansimo sangat terbatas.

Berdasarkan hasil *review* pada Kawasan Strategis Provinsi pantai selatan di Kabupaten Bantul memang memberikan kontribusi yang cukup baik bagi perikanan DIY, namun dengan kondisi sarana dan prasarana nelayan yang relatif masih belum mencukupi maka belum optimal sebagai kawasan strategis untuk tingkat provinsi. Perlu adanya pemberdayaan nelayan dengan penyediaan fasilitas baik sarana maupun prasarana yang mampu meningkatkan produktivitas perikanan tangkap agar mampu memenuhi permintaan pasar di DIY.

b. Kawasan Strategis Provinsi Pantai Trisik, Pantai Karangwuni, Pantai Glagah, dan Pantai Congot di Kabupaten Kulon Progo

Kawasan pantai selatan di Kabupaten Kulon Progo secara umum telah dimanfaatkan sebagai kawasan pertambangan pasir besi, serta terdapat Pelabuhan Tanjung Adikarta yang sedang dikembangkan, dan kawasan yang telah dideliniasi untuk menjadi kawasan bandara baru yang telah direncanakan dan akan dibangun. Pertambangan pasir besi telah memakai lahan kawasan pesisir kurang lebih 3000 ha, termasuk lahan untuk kawasan pabrik pengolahan pasir tersebut. Pelabuhan Tanjung Adikarta akan dikembangkan sebagai Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI). Pelabuhan yang dibangun di kawasan Pantai Karangwuni tersebut hingga saat ini belum beroperasi secara optimal sebab masih dalam proses pembangunan. Pada sekitar kawasan Pantai Glagah direncanakan sebagai bandara baru. Untuk Pantai Congot berperan sebagai kampung nelayan dengan produksi ikan tangkap yang masih terbatas, sehingga dapat dikelola oleh pemerintah Kabupaten Kulon Progo. Dengan demikian seluruh kegiatan yang berada pada kawasan pantai selatan di Kabupaten Kulon Progo tidak hanya berperan sebagai pengelolaan hasil laut namun pengembangan kawasan pesisir tersebut cenderung mendukung aktivitas pertumbuhan ekonomi DIY.

c. Kawasan Strategis Provinsi Pantai Sadeng, Pantai Sundak, Pantai Baron, Pantai Ngrenehan, dan Pantai Gesing di Kabupaten Gunungkidul

Kawasan strategis pada wilayah pantai selatan di Kabupaten Gunungkidul dalam Rencana Tata Ruang Wilayah DIY tahun 2009-2029 sebagai pusat pengelolaan hasil laut terdapat di Pantai Sadeng, Pantai Sundak, Pantai Baron, Pantai Ngrenehan, dan Pantai Gesing. Dalam kegiatan *review* Rencana Tata Ruang Wilayah DIY tahun 2009-2029 tersebut perlu ditinjau kembali apakah wilayah pantai selatan di Kabupaten Gunungkidul tetap layak dikembangkan sebagai Kawasan Strategis Provinsi. Peninjauan dilakukan berdasarkan kondisi terkini setelah ditetapkan sebagai Kawasan Strategis Provinsi dalam Peraturan Daerah Nomor 2 Tahun 2010 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi DIY Tahun 2009-2029.

Berdasarkan hasil kajian *review* yang telah dilakukan, pada Kawasan Strategis Provinsi pantai selatan sebagai pusat pengelolaan hasil laut diketahui produktivitas perikanan tangkap terbesar besar dihasilkan di PPP Sadeng yang berada di wilayah Pantai Sadeng. Tingkat produktivitas yang dihasilkan di PPP Sadeng sebesar kurang lebih 756 ton per tahun. Hal tersebut dikarenakan fasilitas sarana dan prasarana yang ada di PPP Sadeng cukup baik dan cukup memadai bila dibandingkan dengan wilayah lain. Kemudian untuk wilayah Pantai Ngrenehan. TPI Ngrenehan, tingkat produktivitasnya cukup tinggi yakni sekitar 265 ton per tahun. Pantai Ngrenehan memang cukup terkenal sebagai desa nelayan dengan jumlah kapal yang banyak serta fasilitas TPI yang memadai. Untuk wilayah pantai lain seperti Pantai Gesing, Pantai Sundak, dan Pantai Baron tingkat produktivitas perikanan tangkapnya belum optimal, namun pantai tersebut dapat berkembang dengan pengembangan pariwisata yang dikelola oleh masyarakat lokal.

Adapun kendala yang ada terdapat pada prasarana untuk pendistribusian komoditas tersebut. Kurang baiknya prasarana yang ada dipengaruhi oleh faktor kondisi geografis wilayah yang relatif sulit dijangkau karena berada pada wilayah pegunungan karst, yang mana pada wilayah tersebut merupakan wilayah konservasi yang sulit untuk dikembangkan. Proses distribusi yang kurang baik dapat menurunkan kualitas untuk masing-masing komoditas, sehingga dapat menurunkan nilai jual. Maka dari itu perlu ada perbaikan sarana dan prasarana khususnya akses jalan menuju wilayah pantai-pantai tersebut.

3. KESIMPULAN

Perencanaan Kawasan Wisata Bahari yang relevan dengan kondisi Wilayah DIY dalam rangka mendukung pembangunan berwawasan Maritim dan Konsep Among Tani Dagang Layar perlu mempertimbangkan Perencanaan Kawasan Wisata Bahari yang relevan untuk Kawasan Pesisir Pantai Selatan DIY yaitu peningkatan kapasitas dan pelayanan pelabuhan, dan pengembangan pelabuhan perikanan di kawasan pesisir DIY sekaligus sebagai wisata bahari. Antara lain sebagai berikut:

- a) Pengembangan Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI) Depok, Kuwaru, Pandansimo, Samas di Kabupaten Bantul; Baron, Drini, Gesing, Kukup, Ngrenehan, Siung, Sundak, Wediombo di Kabupaten Gunungkidul; Bugel, Congot, Glagah, Jangkaran, Karang Wuni (Tanjung Adikarto), dan Trisik di Kabupaten Kulon Progo
- b) Pengembangan Pelabuhan Perikanan Pantai (PPP) Sadeng di Kabupaten Gunungkidul
- c) Program perwujudan kawasan budi daya perikanan meliputi:
 - [1] Penataan kawasan budi daya tambak pesisir selatan DIY
 - [2] Pengembangan sarana dan prasarana perikanan tangkap di pesisir selatan DIY
 - [3] Penataan kawasan budi daya perikanan tambak

Untuk menambah daya tarik wisatawan, perlu menambah event-event wisata, diversifikasi produk wisata, pembenahan fasilitas wisata, akses menuju dan antar obyek wisata, serta penataan lingkungan sekitar pantai Selatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Paper ini ditulis kembali dari Laporan Akhir Studi Review RTRW Kabupaten Bantul 2016. Trima kasih kepada BAPPEDA Kabupaten Bantul yang telah mendukung kegiatan tersebut.

PUSTAKA

- Asyiawati, Yuli; Rustijarno, Sinung, 2007, Pengembangan Wiata Nahari di Wilayah Pesisir Selatan Kabupaten Bantul DIY, Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota, Vol 7, No 1, 2007: 1-7
- Badan Pusat Statistik, 2013. DIY Dalam Angka
- Badan Pusat Statistik, 2013, PDRB DIY Menurut Lapangan Usaha 2008-2012
- Dinas Kelautan dan Perikanan, 2015, Laporan Tahunan Tahun 2015
- Pemerintah Daerah DIY, Peraturan Daerah Nomor 2 Tahun 2010 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi DIY Tahun 2009-2029
- Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2008 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional
- Pemerintah Daerah DIY, Peraturan Daerah Nomor 2 Tahun 2009 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Daerah Tahun 2005-2025
- Pemerintah Daerah DIY, Peraturan Daerah Nomor 16 Tahun 2011 tentang Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (RZWP3K) DIY tahun 2011-2030
- Pemerintah Daerah DIY, Rencana Tata Ruang Kawasan Koridor Tempel-Parangtritis Tahun 2014
- Triyono, 2015. *Tinjauan Geografis Litoralisasi di Kawasan Pesisir Selatan Yogyakarta*, Jurnal Forum Geografi, Vol. 23, No. 1, Juli 2009: 1 - 10

KAJIAN PEMBEBANAN STATIS PADA DESAIN PURWARUPA SASIS MOBIL LISTRIK DRIYARKARA BERBASIS APLIKASI ELEMEN HINGGA

Achilleus Hermawan Astyanto^{1*}, Yana Resti Yanto², Stephanus Debby³, Adolf Baskoro Wisnu Aji⁴,
Freddy Saputra Romanti⁵

^{1,2,3,4,5} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma
Kampus III USD Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta
Telp. (0274) 883037, Fax. (0274) 886529
E-mail korespondensi: achil.herma@usd.ac.id

ABSTRAK

Kegiatan pengembangan awal suatu produk unggulan biasanya diinisiasi dengan tahap desain. Sebelum dilanjutkan ke tahap fabrikasi, teknologi komputasi masa kini memberi peluang luas untuk melanjutkan analisis mekanis pada tahapan studi simulasi desain purwarupa yang telah dikonsepkan. Melalui pertimbangan maupun penerapan kondisi batas mendekati keadaan faktual, prosedur ini memungkinkan didapatkannya data yang juga mendekati kondisi riil. Makalah ini merupakan hasil studi inisiasi rangkaian aktivitas desain, simulasi komputer berbasis elemen hingga serta pengujian fisis untuk mengetahui apakah desain sasis purwarupa mobil listrik hemat energi Driyarkara yang telah digagas memenuhi persyaratan kelayakan kekuatan desain dan material yang dipilih terhadap mode pembebanan statis. Dengan fitur simulasi pembebanan pada aplikasi komputer berbasis elemen hingga diperoleh nilai tegangan von Mises maksimum dan maximum displacement masing-masing sebesar 138 MPa dan 7,87 mm untuk total beban statis sebesar 0,7 kN terhadap desain yang dipilih. Hasil yang dipaparkan dalam makalah ini, akan divalidasikan kemudian melalui pengujian fisis berupa strain gauge dan hummer impact test. Strain gauge test diharapkan dapat memberikan validasi nilai tegangan-displacement pada struktur sasis, sementara itu, hummer impact test dilakukan untuk mengetahui frekuensi alami desain yang dihasilkan.

Kata Kunci: sasis, simulasi komputer, elemen hingga, pembebanan statis

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mobil listrik telah diklaim sebagai generasi mobil yang akan bertahan dan berkembang di masa depan. Irit konsumsi bahan bakar serta lebih ramah lingkungan menjadi alasan cerdas di balik pernyataan tersebut. Teknologi mobil listrik dipercaya tidak menghasilkan emisi gas buang seperti mobil konvensional. Selain itu, jenis kendaraan ini juga tidak menghasilkan polusi suara maupun kebisingan.

Didasari kajian bahwa keunggulan yang dikumandangkan berkenaan dengan teknologi mobil listrik adalah pendekatan teoritis yang bersifat faktual, pemerintah pun merespon secara cukup positif pengembangan mobil listrik melalui Peraturan Presiden (Perpres) nomor 22 tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Dalam peraturan tersebut, secara eksplisit pemerintah bahkan mendorong optimalisasi pengembangan mobil listrik di Indonesia (www.cnbcindonesia.com).

Dukungan pemerintah terhadap penelitian maupun pengembangan mobil listrik ini kemudian disambut baik secara cukup masif, tidak hanya oleh para pelaku industri otomotif, melainkan juga para akademisi dan peneliti, baik di institusi sekolah menengah kejuruan maupun pendidikan tinggi. Hingga akan memasuki kuartal kedua 2018, tercatat tidak hanya satu kali mobil listrik telah mencuri perhatian pada ajang-ajang pameran otomotif ataupun kompetisi yang berskala purwarupa maupun pengembangan, di tingkat regional, nasional serta internasional. Dalam hal ini produk-produk purwarupa pendidikan tinggi pun tidak lepas dari perhatian para stakeholder maupun khalayak umum.

Rancang bangun purwarupa menjadi langkah awal mengembangkan suatu produk, termasuk mobil listrik. Teknologi perancangan tiga dimensi berbasis parametrik *computer aided design* (CAD) bahkan kian menunjukkan taringnya dalam mengawal kemajuan pesat ini. Sebut saja Dassault dengan Solidworks-nya, Autodesk dengan Inventor dan Fusion 360-nya, hingga Cleo dengan ProEngineer-nya telah umum dikenal oleh berbagai kalangan baik praktisi maupun akademisi. Bagaimana tidak, fitur-fitur yang disediakan bahkan dapat mendukung aplikasi simulatif yang mendekati penggunaan sesungguhnya atau dikenal dengan istilah *computer aided engineering* (CAE).

Pembebanan statis adalah suatu fitur yang tersedia dalam aplikasi simulatif teknologi CAE. Pembebanan ini umum dijumpai dalam pemakaian kendaraan. Hal ini kemudian menjadi parameter penting dalam perancangan sasis kendaraan. Pada pembebanan statis, parameter tegangan maksimum, tegangan von Mises, juga torsi dihitung dan diperbandingkan dengan kekuatan material. Upaya-upaya mencermati hasil pembebanan statis pada umumnya dapat dilakukan baik melalui studi simulasi berbasis elemen hingga menggunakan perangkat lunak (Nugroho, 2015; Yamin dkk, 2008;) maupun secara eksperimental (Wahyudi & Fahrudi, 2016).

1.2 Tinjauan Pustaka

Analisa pembebanan statis berbasis elemen hingga pada sasis kendaraan telah dilakukan oleh banyak peneliti. Rajappan dan Vivekanandhan (2013) mencermati analisa statis dan modal suatu sasis kendaraan niaga. Identifikasi titik-titik dengan kriteria mengalami pembebanan yang tinggi, analisa getaran serta frekuensi alami struktur sasis dilakukan dengan menggunakan aplikasi elemen hingga. Densitas serta *poisson ratio* material menjadi parameter yang divariasikan untuk memperoleh desain optimal sasis yang kemudian diajukan sebagai solusi untuk mengurangi tingkat getaran, memperkuat kekuatan struktur serta menentukan berat optimal dari sasis.

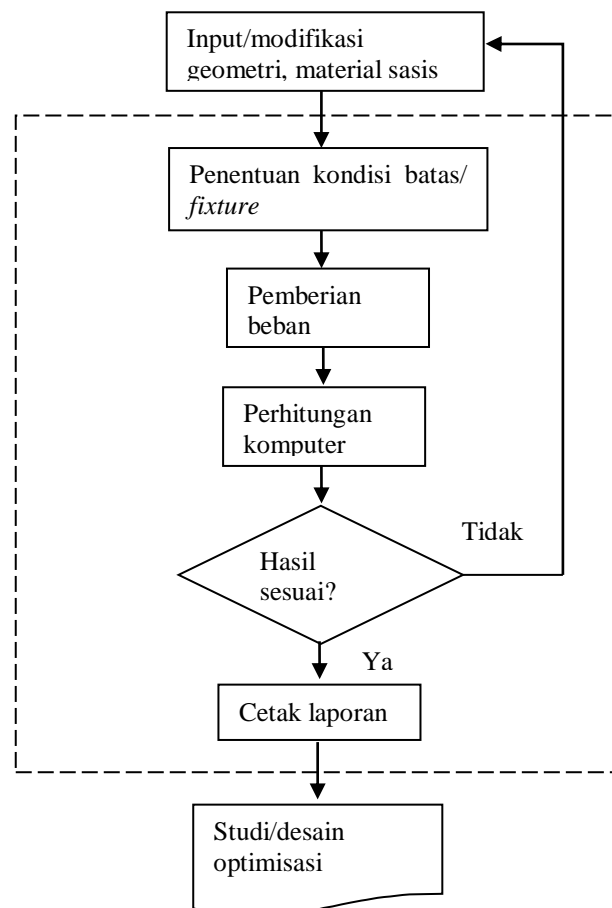
Abadi dkk (2015) meneliti pembebanan statis pada sasis *Automation Guided Vehicle* (AGV) untuk material handling. Analisa pembebanan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Abaqus 6.11 dengan pembebanan didesain dapat berputar untuk mengetahui deformasi serta titik-titik kritis akibat pembebanan. Dengan menerapkan posisi beban dapat diputar serta naik-turun, titik-titik kritis dimungkinkan terjadi pada beberapa bagian.

Pribadi dkk (2015) melanjutkan kajian pembebanan statis pada sistem pengangkat/*lifting* AGV untuk memperoleh nilai tegangan von Mises serta regangan komponen kritikal dari desain yang telah dibuat. Besarnya tegangan dan regangan yang diperoleh dianalisa menggunakan aplikasi elemen hingga pada perangkat lunak Abaqus 6.11. Kondisi pengangkatan beban maksimal mendasari analisa pembebanan tersebut.

Kumar dan Deepanjali (2016) melakukan kajian numeris pada desain sasis truk untuk memperoleh ukuran melintang serta jenis material yang lebih sesuai menggunakan perangkat lunak ANSYS. Pembebanan maksimum diaplikasikan dalam simulasi untuk memperoleh tegangan geser maksimum yang dihasilkan.

1.3 Metodologi Penelitian

Makalah ini merupakan hasil studi inisiasi rangkaian aktivitas desain, simulasi komputer berbasis metode elemen hingga serta pengujian fisis untuk mengetahui apakah desain sasis purwarupa mobil listrik hemat energi Driyarkara yang telah dikonsepskan sudah memenuhi persyaratan kelayakan kekuatan desain dan material yang dipilih terhadap mode pembebanan statis. Diagram alir simulasi ditunjukkan di Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir aplikasi elemen hingga menggunakan Solidworks

Sasis merupakan suatu struktur mekanis untuk menahan beban statis dari keseluruhan berat kendaraan termasuk mesin dan penumpang. Ada 2 jenis utama sasis yang umum dikenal, yaitu sasis tipe tangga (*ladder chassis*) dan sasis tipe monokok (*monocoque chassis*). Sasis tipe tangga umum digunakan pada kendaraan besar seperti kendaraan niaga, truk dan bus. Sementara itu kendaraan penumpang ringan seperti sedan, *city car* dan *multi purpose vehicle* (MPV) biasanya menggunakan jenis monokok.

Pada sasis, terjadi beberapa beban akibat pembebanan statis. Pembebanan tersebut meliputi beban akibat torsi serta beban vertikal. Beban akibat torsi dialami oleh kendaraan akibat geometri kendaraan, sedangkan beban vertikal dapat meliputi berat penumpang, mesin maupun komponen-komponen pada kendaraan. Benang merah pada pembebanan statis memang terkait dengan resultan gaya yang berkerja pada sasis ketika sasis itu difungsikan sebagaimana mestinya.

Hukum II Newton tentang gerak secara eksplisit menyebutkan bahwa apabila resultan gaya (ΣF) yang bekerja pada suatu partikel tidak sama dengan nol, maka resultan gaya tersebut sebanding dengan massa dikalikan dengan percepatan yang dialami oleh partikel. Hal ini dapat dituliskan dengan formula sebagai berikut.

$$\sum F = ma \quad (1)$$

dengan: m merupakan massa partikel
 a menunjukkan percepatan yang dialami oleh gerak partikel

Sementara itu nilai tegangan normal (σ_n) yang bekerja pada suatu luasan akan berbanding lurus dengan besarnya gaya normal yang diterima oleh partikel tersebut. Hal ini dapat diformulasikan dalam persamaan berikut.

$$\sigma_n = \frac{F_n}{A} \quad (2)$$

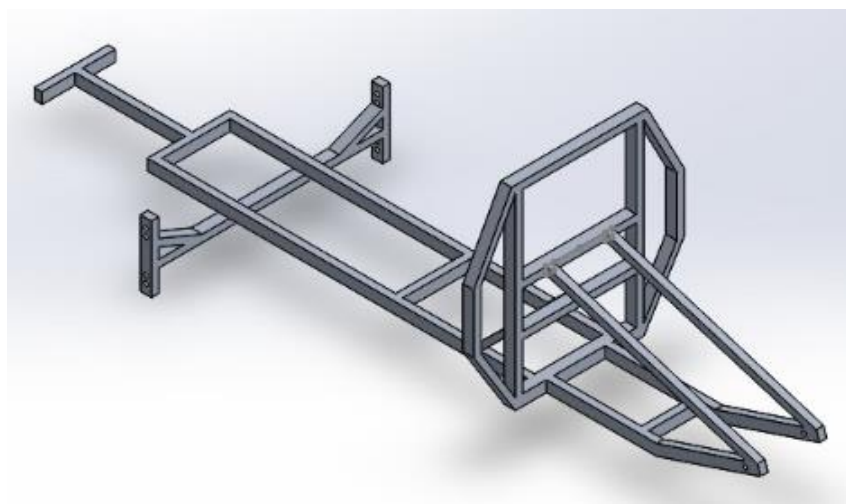
dengan: F_n gaya normal yang dialami oleh partikel
 A menunjukkan luasan gaya diberikan

Adanya gaya yang bekerja pada suatu struktur serta jarak antara titik gaya dan titik referensi puntiran yang mungkin terjadi pada geometri struktur mengakibatkan munculnya torsi. Torsi atau momen puntir (M_t) akan sebanding besarnya gaya yang diterima oleh suatu titik dikalikan dengan jarak titik gaya terhadap sumbu kedudukan. Hubungan antara torsi, gaya dan jarak dituliskan dalam persamaan berikut.

$$M_t = Fr \quad (3)$$

dengan: r adalah jari-jari titik gaya terhadap titik pusat radius puntiran.

Desain sasis yang akan disimulasikan ditunjukkan di Gambar 2. Dimensi sasis secara global direncanakan sebesar 2 meter x 0,5 m x 0,5 m untuk masing-masing panjang, lebar dan tinggi. Sementara itu, jenis material yang digunakan dalam simulasi perancangan adalah Aluminium paduan Al 5154-O berbentuk *hollow square* dengan dimensi 20 mm x 15 mm x 1,5 mm untuk masing-masing lebar, tinggi dan tebal. Material ini dipilih dengan pertimbangan sifatnya yang ringan serta memiliki kekuatan yang cukup baik untuk nilai beban yang diperhitungkan. Beberapa parameter penting properti material ini ditunjukkan pada Tabel 1.



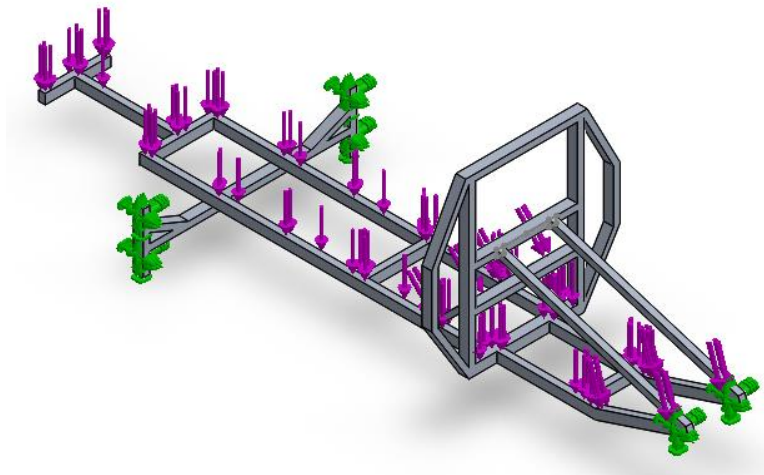
Gambar 2. Desain purwarupa sasis mobil listrik Driyarkara

Tabel 1. Properti material Al 5154-O

<i>Material</i>	<i>Modulus Elastisitas, GPa</i>	<i>Densitas, kg/m³</i>	<i>Poisson's Ratio</i>	<i>Tegangan Luluh, MPa</i>
Al5154-O	69	2600	0,33	139

2. PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, simulasi desain dilakukan dengan mengaplikasikan beban berupa gaya pada bidang permukaan sasis seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Beban statis tersebut diestimasi sebagai pengganti bobot rerata pengendara yang diizinkan, motor listrik, bodi serta komponen-komponen lain yang akan diasemblikan pada sasis. Sementara itu, lubang-lubang untuk menempatkan poros ban digunakan sebagai titik-titik tumpuan yang tetap/fixture.

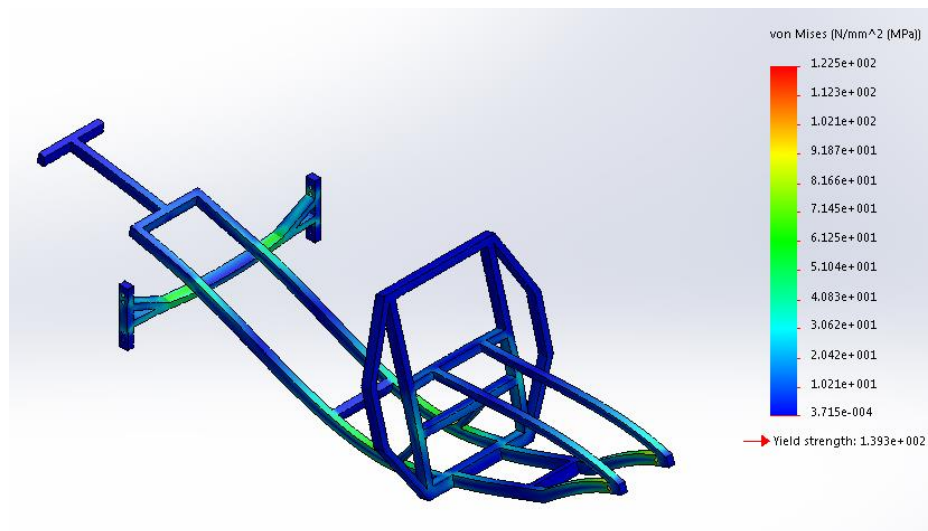


Gambar 3. Kondisi batas dan pembebanan statis yang ditetapkan pada sasis

Dengan merujuk dan mengaplikasikan total beban statis sebesar 0,7 kN pada kondisi perancangan, diperoleh nilai tegangan von Mises minimum dan maksimum masing-masing sebesar 0,26 dan 85,8 MPa. Nilai tegangan von Mises maksimum terbilang masih dalam batas nilai yang diizinkan oleh nilai tegangan luluh material. Titik di mana terdapat tegangan maksimum ini disebut sebagai titik kritis pembebanan. Besarnya nilai tegangan maksimum ini tidak melampaui besarnya kekuatan luluh material.

Tabel 2. Nilai tegangan von Mises untuk 4 variasi beban

<i>Beban, kN</i>	<i>Tegangan von Mises minimum, MPa</i>	<i>Tegangan von Mises maksimum, MPa</i>
0,7	0,26	85,8
0,85	0,32	105
1	0,38	123
1,1	0,41	135



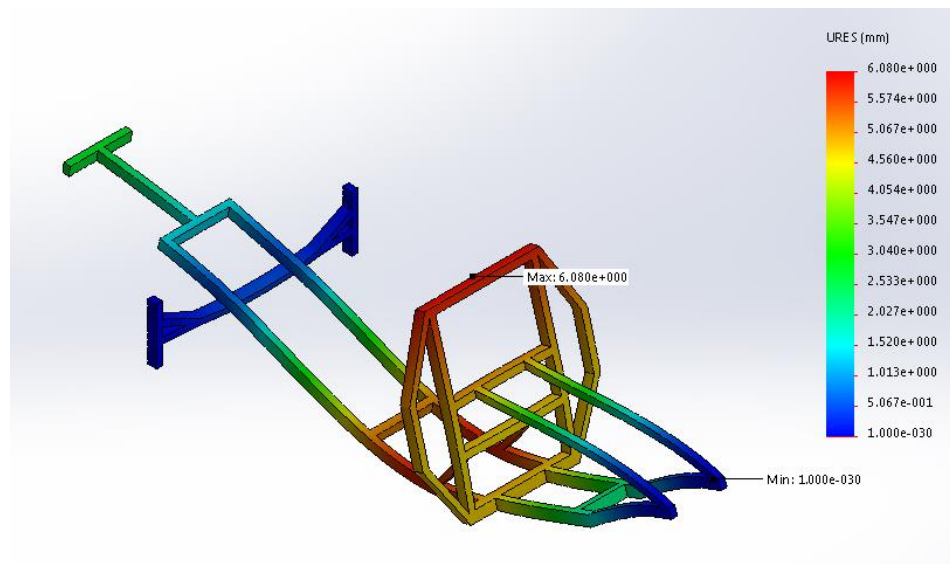
Gambar 4. Kondisi tegangan von Mises pada sasis akibat pembebanan statis

Tabel 2 menyajikan nilai tegangan von Mises untuk beberapa variasi nilai pembebanan, sementara kondisi tegangan von Mises ditunjukkan di Gambar 4. Semakin besar pembebanan yang diberikan, semakin tinggi pula nilai tegangan von Mises yang terjadi. Untuk total pembebanan statis sebesar 0,85 kN diperoleh nilai tegangan von Mises minimum dan maksimum masing-masing sebesar 0,32 dan 105 MPa. Untuk pembebanan statis sebesar 1,0 kN diperoleh nilai tegangan von Mises minimum dan maksimum masing-masing sebesar 0,38 dan 123 MPa. Sementara itu pembebanan statis sebesar 1,1 kN memberikan nilai tegangan von Mises minimum sebesar 0,41 MPa dan tegangan von Mises maksimum sebesar 135 MPa. Dengan demikian, beban total 1,1 kN masih dapat diaplikasikan pada desain ini karena nilai tegangan von Mises maksimum yang dihasilkan masih di bawah kekuatan luluh material, yaitu 139 MPa.

Tabel 3. Nilai *maximum displacement* untuk 4 variasi pembebanan

<i>Beban, kN</i>	<i>Maximum displacement, mm</i>
0,7	5,01
0,85	6,08
1	7,16
1,1	7,87

Tabel 3 menunjukkan nilai *maximum displacement* untuk beberapa variasi nilai pembebanan, sementara kondisi *nodal displacement* ditunjukkan di Gambar 5. Semakin tinggi pembebanan yang diberikan, semakin besar pula regangan maksimum yang terjadi. Untuk pembebanan sebesar 0,7 kN diperoleh nilai *maximum displacement* sebesar 5,01 mm. Untuk pembebanan sebesar 0,85 kN diperoleh nilai *maximum displacement* sebesar 6,08 mm. Untuk pembebanan sebesar 1 kN diperoleh nilai *maximum displacement* sebesar 7,16 mm. Sementara itu, pembebanan 1,1 kN memberikan nilai *maximum displacement* sebesar 7,87 mm.



Gambar 5. Kondisi *displacement* sasis akibat pembebanan statis

3. KESIMPULAN

Kajian pembebanan statis berbasis aplikasi elemen hingga terhadap suatu desain purwarupa sasis mobil listrik telah dipaparkan di makalah ini. Dengan menggunakan perencanaan total pembebanan statis, meliputi bobot pengemudi, motor listrik, bodi kendaraan serta komponen lainnya, adalah 0,7 kN, diperoleh nilai tegangan von Mises maksimum sebesar 85,8 MPa dan nilai *maximum displacement* sebesar 5,01 mm. Bahkan dengan meningkatkan nilai pembebanan hingga 40% dari kondisi perancangan, yaitu 1,1 kN, diperoleh nilai tegangan von Mises maksimum sebesar 138 MPa dan nilai *maximum displacement* sebesar 7,87 mm. Dari hasil simulasi tersebut, boleh disimpulkan bahwa desain purwarupa sasis yang telah dikonsepkan masih dapat dilanjutkan ke tahap studi optimasi untuk memperoleh desain yang lebih baik, dan kemudian dilanjutkan ke tahap fabrikasi serta pengujian fisis.

PUSTAKA

- Abadi, Z., Fauzun, & Mahardika, M. 2014. *Analisa Tegangan pada Desain Frame Automatic Guided Vehicles (AGV) Dengan Pembebanan Statis Menggunakan Software Abaqus 6.11*. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Teknik Mesin (SNTM) 9, Universitas Kristen Petra, Surabaya, 12 Agustus.
- Agrawal, M. S. 2015. Finite Element Analysis of Truck Chassis Frame. *International Research Journal of Engineering and Technology*, (Online), Volume 2, Issue 3, (<https://www.irjet.net>, diakses 9 Maret 2018)
- Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J.T. & Mazurek, D.F. 2012. *Mechanics of Materials (Sixth Edition)*. New York: McGraw-Hill.
- Beer, F. P., Johnston, E. R., & Eisenberg, E. R. 2007. *Vector Mechanics for Engineers (Eighth Edition)*. Singapore: McGraw-Hill Education (Asia).
- Hanung, R. 2018. *Artikel Berita Nasional Menanti Insentif Mobil Listrik di Tanah Air*, (Online), (<https://www.cnbcindonesia.com/news/20180224120933-4-5336/menanti-insentif-mobil-listrik-di-tanah-air>, diakses 14 februari 2018).
- Kumar, A. H., & Deepanjali, V. 2016. Design and Analysis of Automobile Chassis. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, (Online), Volume 5, Issue 1, (<http://www.ijesit.com>, diakses 6 Maret 2018).
- Nugroho, C. B. (2015). Analisa Kekuatan Rangka pada Traktor. *Jurnal Integrasi*, (Online), Volume 7, No. 2, (<https://www.jurnal.polibatam.ac.id>, diakses 5 Maret 2018).
- Pribadi, J. S., Fauzun, & Mahardika, M. 2014. *Analisa Komponen Kristis pada Desain Automatic Guided Vehicles (AGV) Subsystem Lifting Dengan Pembebanan Statis Menggunakan Software Abaqus 6.11*. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Teknik Mesin (SNTM) 9, Universitas Kristen Petra, Surabaya, 12 Agustus.
- Rajappan, R., & Vivekanandhan, M. 2013. Static and Modal Analysis of Chassis by Usign FEA. *The International Journal of Engineering and Sciences*, (Online), Volume 2, Issue 2, (<http://www.theijes.com>, diakses 9 Maret 2018).

- Wahyudi, N., & Fahrudi, Y. A. 2016. Studi Eksperimen Rancang Bangun Rangka Jenis Ladder Frame pada Kendaraan Sport. *Journal of Electrical Electronic Control and Automotive Engineering*, (Online), Volume 1, No. 1, (<http://www.journal.pnm.ac.id>, diakses 8 Maret 2018).
- Yamin, M., Satyadarma, D., & Hasanudin, O. A. 2008. *Analisis Tegangan pada Rangka Mobil Boogie*. Makalah disajikan dalam Seminar Ilmiah Nasional Komputer dan Sistem Intelijen (KOMMIT), Universitas Gunadarma, Depok 20-21 Agustus.

CONCEPTUAL DESIGN OF HIGH SPEED CRAFT FORENSURING SAFETY OF LIFE AT SEA AND HAZARDOUS COLLISION

Fred Wenehenubun

Mechanical Engineering – Faculty of Engineering
Atma Jaya Catholic University of Indonesia
Jln. Cisauk Raya - Serpong Tangerang Selatan
e-mail: frederikus.wen@atmajaya.ac.id

ABSTRACT

This paper presents a conceptual design of principal dimensions of high speed craft for fast passengers-goods ferry design to ensure safety of life during trips between remote areas or islands in Indonesia water. The prototype hull form with lower total resistance coefficient is resulted from magister thesis research project of the writer. The length of waterline is calculated as to meet the save fetch distance and length of collision for high speed. Breadth, depth of hull and draft are derived from ratios of dimensions from the prototype. The principal dimensions defined satisfy the requirement for passenger and crew safety the location is in collision save area. This is to comply with the regulations of The International Convention of the Safety of Life at Sea (SOLAS) and High Speed Craft (HSC).

Keywords: HSC, Ferry, Collision, SOLAS, Fetch distance

1. INTRODUCTION

1.1 Back Ground of the Concept

Many small remote-inhabited islands in Indonesia water are very isolated from public transportation provided by the Government. Poverty and isolation are main reason this paper is presented as a hope recovery means. This is to disseminate education and human development programs in the areas. Therefore a safe high speed craft as fast passenger-good ferry is a fundamental need to connect short distances among the islands.

1.2 Statement of problem

At high speed within the area traveled in a daytime or overnight time, not feasibly and not worthy transportation for rough sea may end up with fail trips. This paper discusses a specific solution to this by analyzing and calculating what is the best dimension for high speed craft by introducing fetch distance method and avoiding hazardous collision.

1.3 The aim of this paper

This paper aims to present a conceptual design and a real worthy dimensions of a high speed craft used as fast passenger-goods ferry to serve transportation among remote islands uncovered by the Government transportation service.

1.4 Method of conceptual design

Parent hull form is adopted from the previous study and by accepting all characteristics of the form, conceptual design is initiated by introducing the definition of high speed craft as passenger ship as ship that carry more than 12 passengers and fast passenger ferry as small-size ship for short trips to carry passengers and goods.

Calculation is begin by identifying all possible short distance among islands that less than a fetch distance to estimated cruising range and service speed for unfailing short trips in a daytime or overnight time. Distances between two adjacent island is measured with “Google Ruler” online all over the water areas. There are about 10 short and continued short trips define with distances less than 320 kilometers or 200 sea miles.

Principle dimensions are derived by first estimate a daytime or overnight trips serving speed from Safety of Life at Sea approved speed as $V = 3.7 \times \nabla^{0.1667}$ and studied by Lind et al as 35 knots or 18 m/s. Froud number satisfying speed of 18 m/s which is 0.63 then be applied to calculated length of waterline of hull form. Length of overall is estimated as 1.97 time length of waterline. All other characters from parent hull are implemented to define new conceptual dimensions including dead weight tonnage and number of passengers for calculating length of free collision. Conceptual design ends up with definition of save location for not placing passenger and crew in superstructure.

2. LITERATURE REVIEW

The designed ship is to carry passenger and goods with all the characters and properties that must satisfy The rule and regulation of The International Convention of the Safety of Life at Sea (SOLAS) and/or Regulation of Indonesia Classification Bureau.

As High Speed Craft (HSC) and considering the priority of the safety of passenger and crew, for this paper focuses on ship principle dimensions and passenger deck arrangement, for the safety of life at sea and to prevent collision hazardous effects.

The concept of the design is to justify all the requirements for the safety of passengers and crews, therefore it is important to define the studied high speed craft in term of passenger ship and fast goods-passenger ferry based on cruising range and service velocity.

2.1 Passenger ship

Passenger ship is a ship used to carry passengers and this category includes ferries, yachts, ocean liners, and cruise ships. In IMO definition, a passenger ship is a ship that carry more than 12 passengers. Passengers bring along their allowed belonging weight, in a very limited amount of 25 kg as quoted from Republica.co.id, April, 18th, 2013, by The Director of Traffic and Sea Transportation, Ministry of Transportation of the Republic of Indonesia, Mr. Adolf Tambunan, a speech delivered at the Workshop Tata Kelola Muatan Geladak Kapal Penumpang. (Workshop on the Governance of Deck Cargo onboard a Passenger Ship).

For passenger ship, important technical regulation to focus on is “human element” by applying the International Safety Management (ISM) Code for Passengers, 1998. IMO adopted SOLAS requires that passenger ship should be designed for improved survivability so that, in the event of casualty, persons can stay safely on board as the ship proceed to nearby ports.

2.2 Fast Passenger Ferries

Ferries are small-sized ship that are used in short trips between two or more ports close to the coast in a day or overnight sailing. The number of passenger varies from 40 to 600 persons. Ferries are good as a part of public transport system in many waterside cities and small – remote islands as Indonesia.

The design of high speed craft as fast ferry, for safety requirements, is regulated by the High Speed Craft (HSC) Codes of 1994 and 2000, adopted by the Maritime Safety Committee of the International Maritime Organisation (IMO).

SOLAS Chapter X. Reg. 1.3, C100, point 2, January 2011, defines High Speed Craft as crafts capable of a maximum speed, in meter per second (m/s), equal to or exceeding, $3.7 \times \nabla^{0.1667}$, where ∇ is volume of displacement in cubic meters corresponding to the design waterline. Linda Styhre, 2009, in their SSPA Research Report : *Handbook on the Establishment of High-Speed Craft Operation* define High Speed Craft (HSC) is a craft capable of an operational speed of more than 35 knots. Accordingly they also define that one knot in sea transportation is the speed required to travel one nautical mile, i.e 1852 meter, in 60 minutes.

2.3 Cruising range

High Speed Craft (HSC) is small craft or ship for short distance or cruising range. Fast ferry as small craft is in this category, the cruising range must be defined to satisfy the definition. To define service areas for this kind of sea transportation, let's go over the route of Indonesian Government Operated Passenger Ship, by PT. PELNI, <http://pmtcargo.blogspot.co.id/2013/04/rute-kapal-pelni.html>, as in Figure 1 – blue lines. To connect remote areas, from the figure, most part of Maluku Islands in Eastern Indonesia, some areas in the Nusa Tenggara Islands, and islands in the west coast of Sumatera, Fast Passenger–Goods Ferry in small dimension and good for short distance trip have to be provided.

In the condition of open water area, the possibility of high speed wind creating high wave is mostly possible. Fetch method is adopted to be determined the safe distance. Fetch is the horizontal distance over which wave-generating winds blow from a single, constant direction to reach its maximum amplitude. As defined in National Marine Weather Guide, Environment Canada - Chap. 3 – Sea State, a fetch of at least 320 kilometers or 200 miles (one mile is 1.6 km - Canada) or 172.8 miles (British) is usually required for waves to develop to their maximum potential height on the open sea. For this reason cruising range for discussion this paper is limited to the distances between islands less than a fetch.

The route of sea transportation is shown in Figure 1 with red bold lines and grouped into 10 groups comprising of short distance sea trips between remote islands and cities: (1).Sabang city - Simeuleu island to Mentawai Island to Padang city-in west Sumatera, (2).Ketapang city in Kalimantan island to Belitung island and Bangka island to Batam island to Natuna island and back to Kalimantan island, (3). East Java to Bali to Lombok to Sumbawa to Flores and to Timor , (4). Flores island to Alor island to Wetar island to Damar island to Babar island and to Tanimbar island, (5). Tanimbar island to Aru island to Kai islands passing Tayando island and Kur island to Seram, (6). Ambon city to Buru island (Namlea city) to Sula island to Sanana island to Luwuk in Sulawesi to Obi island to Ternate city, (7).Makasar city to Selayar island to Kabaena island to Muna island to Buton island and back to Makasar city. (8).Balipapan city (Kalimantan) – Donggala city in Sulawesi,

Sambaliung Peninsula in Kalimantan island to Sibualong city in Sulawesi island, (9).Ternate city to Morotai island to Waigeo island to Sorong city to Misol island to Halmahera island.(10).Bitung city to Sangir island and to Talaud island. All these sea transportation route are in a variation of range of 154 to 320 km, recorded from “Google Earth” Tool. The results show that all the distances between islands less than a fetch, then a High Speed Craft (HSC) is possible to operate in the areas.



Figure 1. Short trips less than a fetch distance

2.4 Principal Dimensions

Principal dimensions are determined based on the definition of maximum speed from SOLAS, Chap.3 Reg. 1.3, minimum speed from Linda Styhre at al, $V = 35$ knots or 18 m/s, and Froude number of Semi-planing Hull Form Studied by Wenchenubun, F. see Figure 2., and Table 1.

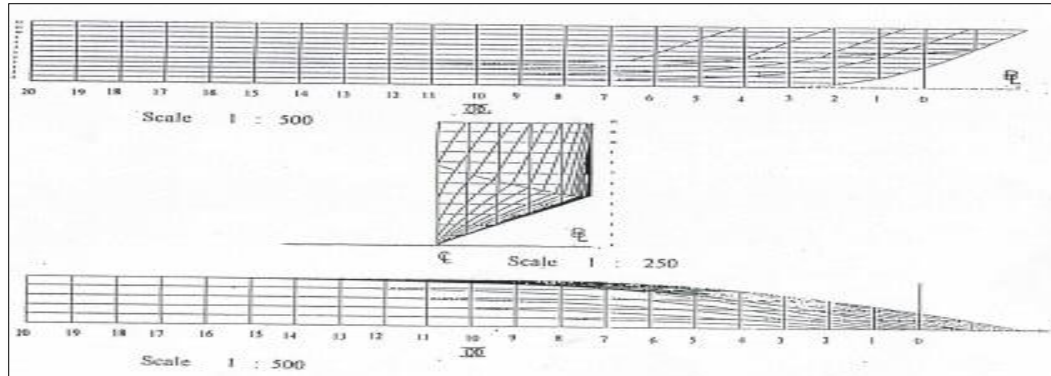


Figure 2. Prototype hull form.

Magister thesis research project. TUNS-Dalhousie Technology- Halifax – Nova Scotia Canada -1995

Table 1. Principal Dimensions of prototype

Principle Dimension	Symbol	Unit	
Length overall	LOA	m.	92.50
Length of waterline	LWL	m.	84.10
Maximum beam	B_{max}	m.	14.50
Depth	H	m.	9.50
Draft	T	m.	3.90
Ratios			
Length to beam	L/B		5.80
Length to disp. volume	L/ ∇		7.69
Beam to draft	B/T		3.70
Coefficients			

Prismatic	CP	0.748
Block	CB	0.374
Waterline	CW	0.754
Transom	CTr	0.500

3. CONCEPTUAL DESIGN

3.1 Design of length of waterline (LWL)

An earlier calculation of length of design waterline is carried out using Safety of Life at Sea (SOLAS) requirement for service speed of high speed craft and/or service speed studied by Linda et al as 35 knots or 18 m/s. To find length of design waterline, LWL, equation of Froude number is introduced.

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} \quad (1)$$

where V : speed of ship, $V = 18$ m/s, g : acceleration of gravity: 9.81 m/s, and L is length of design waterline, LWL, from hull form study: $LWL = 84.1$ m.

Froude number that satisfies $V = 18$ m/s is $Fn = 0.63$ and $\nabla = 1778.69 \text{ m}^3$ from the previous study. According to SOLAS speed V be determined as;

$$V = 3.7 \times \nabla^{0.1667} \quad (2)$$

where ∇ is volume displacement, V is service speed, then: $V = 12.88$ m/s,

hence from $Fn = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$, length of waterline is calculated as:

$$LWL = 42.6 \text{ m.}$$

3.2 Length of overall (LOA)

Length overall for this conceptual design can be calculated from principal dimensions of the prototype hull form with $LOA = 92.50$ m, and $LWL = 84.10$ m.

$$LOA_{\text{concept}} = \frac{LWL_{\text{parent}}}{LOA_{\text{parent}}} \left(\frac{1}{LWL_{\text{concept}}} \right) \quad (3)$$

Hence;

$$LOA_{\text{concept}} = 46.80 \text{ m}$$

3.3 Length between perpendicular (LBP)

Length between perpendicular, can be calculated by SOLAS rule, that not less than 96% LWL and not more than 97% LWL. Applying the average 96.5% LWL then

$$(LBP)_{\text{concept}} = 0.965 (LWL)_{\text{concept}} \quad (4)$$

Hence:

$$(LBP)_{\text{concept}} = 41.11 \text{ m}$$

3.3 Ratio of dimensions and breadth, draft, and height of hull

Ratios of dimension of parent hull form and conceptual dimension are kept the same as to define draft T , breadth B and height of hull H of concept dimensions in this paper;

3.3.1 Ratio of length to breadth; $(L/B)_{\text{parent}} = 5.8$.

where L is length of waterline $(LWL)_{\text{parent}}$ and $(LWL)_{\text{concept}} = 42.60$ m.

Use this ratio to calculate breadth of conceptual design B_{concept} ;

$$B_{\text{concept}} = \frac{(LWL)_{\text{concept}}}{(L/B)_{\text{parent}}} \quad (5)$$

Hence;

$$B_{\text{concept}} = 7.34 \text{ m}$$

3.3.2 Ratio of breadth to draft : $(B/T)_{\text{parent}} = 3.7$.

Use this ratio to calculate draft of conceptual design, T_{concept} ;

$$T_{\text{concept}} = \frac{T_{\text{concept}}}{(B/T)_{\text{parent}}} \quad (6)$$

Hence;

$$T_{\text{concept}} = 1.987 \text{ m}$$

3.3.3 Ratio of hull height to draft; $(H/T)_{parent} = 2.4$.

Use this ratio to calculate hull height of conceptual design, $H_{concept}$;

$$H_{concept} = \frac{T_{concept}}{(H/T)_{parent}} \quad (7)$$

Hence;

$$H_{concept} = 4.70 \text{ m}$$

3.4 Hull form Coefficients

In parent hull form or prototype is defined important coefficients such as prismatic coefficient CP, block coefficient CB, waterline coefficient CW, and transom coefficient CTr. All these coefficients are kept the same for conceptual design.

$$3.4.1 \text{ Prismatic coefficient, } (CP)_{parent} = (CP)_{concept} = 0.748$$

$$3.4.2 \text{ Block coefficient, } (CB)_{parent} = (CB)_{concept} = 0.374$$

$$3.4.3 \text{ Waterline coefficient, } (CW)_{parent} = (CW)_{concept} = 0.754$$

$$3.4.4 \text{ Transom coefficient, } (CTr)_{parent} = (CTr)_{concept} = 0.500$$

3.5 Results Of Conceptual Design

The first set of results as Conceptual principle dimensions seen in the following table, which some dimensions will be used to calculated length of collision later on;

Table 2. Conceptual Principle Dimensions

Principle Dimension	Symbol	Unit	Values
Length overall	LOA	m.	46.8
Length of waterline	LWL	m.	42.6
Maximum beam	B _{max}	m.	7.34
Depth	H	m.	4.70
Draft	T	m.	1.98
Length of collision	d	m.	11.6
RATIO			
Length to beam	L/B		5.80
Length to disp. volume	L/ ∇		7.69
Beam to draft	B/T		3.70
COEFFICIENTS			
Prismatic	CP		0.748
Block	CB		0.374
Waterline	CW		0.754
Transom	CTr		0.500

3.6 Calculation of Dead weight tonnage (DWT)

Dead weight tonnage (DWT) signify a measure of weight a ship can safely carry, excluding the weight of the ship, it includes weight of passenger, fuel, fresh water, ballast water, provision and crew. To determine DWT, value from the previous study is adopted , as

$$DWT = CD \times \Delta \quad (8)$$

where CD is displacement coefficient, kept the same as CD= 0.2323, is taken from referenced hull form for the presented hull form in the previous study, i.e Company Report, 1992, Aquastrada Fast Monohull Car Ferry, RodriquesCantieriNavali Spa, Mesin, Italy [9], and Δ is displacement weight, and determined by applying displacement volume $\nabla = 1778.69 \text{ m}^3$ with sea water gravity density of 1,025 tons/ m^3 for displacement weight Δ as;

$$\Delta = \nabla \times \gamma \quad (9)$$

Hence;

$$\Delta = 1823.16 \text{ tons}$$

Then, DWT can be calculated as;

$$DWT = CD \times \Delta = 432.50 \text{ tons.}$$

3.7 Length of Collision d_c (m) from for eng

Passenger, crew and operation room is locate in a save location form fore end in case of collision to prevent hazard may caused. To carry out this calculation, number of passenger and number of crew have to be determined according to safety related rules;

3.7.1 Number of passengers

The number of passenger can be determined based on the effect of passenger weight distribution. International Code of Hight Speed Craft (HSC), 1994. Part B. Requirement for Passenger Craft, 2.10. General, point 1. The distribution of passenger is 4 persons for one square meter.

3.7.2 Length of collision

The number of passenger is to be determined by considering International Code of Safety for High Speed Craft, 1994 concerning passenger and crew safety under the collision design conditions, Chap.4, point 4.4, to locate public space and crew accommodation not in a location from the extreme forward end as far as ,

$$d = \frac{V^2}{20 \cdot g_{coll}} \quad (10)$$

where:

V is operational speed of craft, $V = 12.88$ m/s

g_{coll} is the collision acceleration at high speed that can be calculated as;

$$g_{coll} = 1 \cdot \frac{P}{g \cdot \Delta} 2 \quad (11)$$

where;

P : the load taken as the lesser of these tow equations;

$$P = 460(M \cdot cL)(E \cdot cH) \quad (12)$$

and

$$P = 9000 \cdot M \cdot cL (cH(T+2))^{1/2} \quad (13)$$

Where :

- M is hull material factor, if aluminium is chosen for the reason of light weight, $M = 1$,
- cL is length factor, and cH is height factor for monohull type craft as;

$$cL = \frac{(165+L)}{245} \left(\frac{L}{80} \right)^{0.4} \quad (14)$$

where $L = LOA = 46.80$ m

Hence $cL = 0.697$

- cH is determines with the equation as;

$$cH = \frac{T+2+f(H/2)}{2H} \quad (15)$$

where

- $T = 1.98$ m ,
- $H = T \cdot (H/T) = 1.98 \times 2.375 = 4.7$ m
- f factor is determined for monuhull form as $f = 0$ for $T + 2 < H$ which is true for this design, $3.98 < 4.7$

hence;

$$cH = \frac{T+2}{2H} = 0.423 \quad \text{and}$$

- E is the value obtained by applying equation of ;

$$E = 0.5 \Delta \cdot V_{im}^2 \quad (16)$$

where $\Delta = 1823.16$ tn, $V_{im} = 4.29$ m/s , then $E = 151226.0$

The value of the two P values are ;

- The first P is
 $P = 460(M \cdot cL)^{2/3}(E \cdot cH)^{1/3} = 29198.57$ tones
- The second P is;
 $P = 9000 \cdot M \cdot cL \cdot (cH \cdot H)^{1/2} = 12690$ Tones

For equation (12) and (13) which are used to estimate P value in equation (11) requiring the lesser value of the two P-s, then the fact is $P = 12690$ tones less than $P = 29198.5$ tone, and the lesser is $P = 12690$ tones.

Hence, applying this lesser value to equation of g_{coll} ends up with $g_{coll} = 0.71$ m/s²

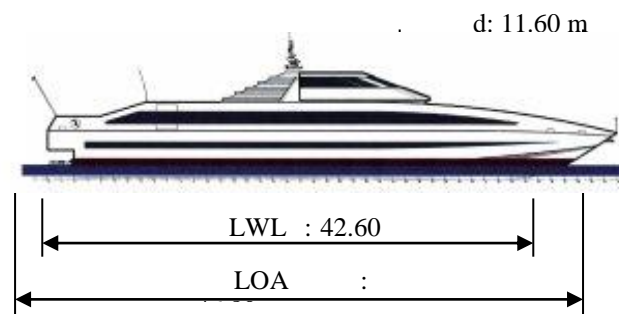
This value is lower than the limit of this level as 3 m/s² and satisfy Design Level 1, regulation of HSC. Part B, 2.10 General, point 1, with particulars;

1. Seat/seat belts
 - 1.1 Low or high seat back
 - 1.2 No restriction on seating direction
 - 1.3 Sofas allowed
 - 1.4 No seat belts requirement
2. Tables in general allowed
3. Padding of projecting objects
4. Kiosks, bars, etc., no special restriction
5. Baggage, no special requirements
6. Large masses, restraint and positioning.

The distance for not the location of public space and accommodation to avoid the danger of collision can be determined from the extreme end of ship, d in equation (10) as;

$$d = \frac{v^2}{20 \cdot g_{\text{coll}}} = 11.69 \text{ m}$$

Taken an example from the same type of high speed craft, length of collision can be drawn as in Figure 3.



Passenger and crew space location in longitudinal direction of ship, see Figure 3.

$$x_{PC} = LOA - d \quad (\text{m}) \quad (17)$$

Where; $LOA = 46.80$ meters, and $d = 11.60$ meters,

Hence ;

$$x_{PC} = 46.8 - 11.69 = 35.11 \text{ m from the stern.}$$

3.8 Number of passengers . N_p

To estimate the number of passenger, water plane area of this length be determined according to Rule for Classification and Construction, Section 4, point 4.17.3, Germanischer Lloyd the width of corridor at least 90 cm for evacuation path, and for the length of 35.11 m, the area is 31.6 m^2 for single isle.

3.8.1 Deck Area

Deck area in square meter is being calculated for; $x_{PC} = 35.11 \text{ m}$ and breadth of hull at deck. The area is in curved form, is determined by applying Simpson method as;

$$D_{\text{area}} = 2 \int_0^{1/2} B \cdot x_{PC} dx \quad (18)$$

Hence

$$D_{\text{area}} = 55 \text{ m}^2$$

If only one line of isle between of seats, then available area for passengers is calculated by taking the area as determines 90 cm or 0.9 m as long as x_{PC} which is equals to:

$$\text{Isle area} = 0.9 \text{ m} \times 35.11 \text{ m} = 31.60 \text{ m}^2$$

Available area A_{av} is determined as $= 55 - 31.6 = 23.4 \text{ m}^2$.

Recalling that number of passenger for 1 square meter os 4 persons, then number of passengers is $N_p = 23.4 \text{ m}^2 \times 4 = 93 \text{ persons}$.

The number of passenger can also be determined according to an example High Speed Craft of the same type with the geometry $LOA = 50 \text{ m}$, and $LWL = 48.25 \text{ m}$. Beam = 17 m with 244 passengers and number of passenger per square meter 4 persons for this paper the number of passengers is $(42.6 \times 7.34) / (48.25 \times 17) \times 244 = 93 \text{ persons}$. Weight of passengers, as a person weighs 75 kg, equal to 6975 kg.

3.9 Number of crews.

From the same type of Hight Speed Craft, with principal dimension; LOA: 50 m, Beam =18.m Draft: 2.m and Depth 6.6 m, number of passengers 244 persons with number of crews 16 persons, for the designed principal dimension, the number of crews is **6 persons** by the ratio of passenger to crew is 15.25 : 1. Weight of crew, by the same weight of one person as 75 kg, equal to **450 kg**.

4. RESULTS AND DISCUSSION

Principle dimensions of conceptual design of fast passenger-good ferry presented in this paper comply with rules, regulations, and requirements of Safety of Life at Sea (SOLAS), International Maritime Organization (IMO), High Speed Craft (HSC). As the thesis question implied in the title for ensuring the safety, this paper presents over view of method for a preliminary design of high speed craft for short trips that can be traveled in a daytime or overnight time. New concept defined in this paper is determination of safe location onboard for crews and passengers. Collision may occur which can not be avoided at high speed service either running into other crafts or reefs in shallow water and even any floating debris. For this kind of craft, this is considered as a safety rule and this presentation aims to introduce the concept to high speed craft designers, researchers, developers or builders, and even to Government in establishing sea trips regulations.

To verify the new concept, the existing design concept applied by Rodrigues Cantieri Navali SpA TMV 47, MesinaItaly.Access, April 22, 2016, is adopted in this paper as reference.

Designation	Rodrigues Concept (meter)	New Concept (meter)
Lengt of over all, LOA	46.00	46.80
Lengt of waterline, LWL	37.20 (0.8 LOA)	42.60 (Froude number effect)
Beam, B	7.60	7.34
Draft, T	1.20 (full load)	1.90 (full load)
Length of collision, d	Not defined	11.60

The prototype has been serving short sea trips in the Mediteranian for cruising range less then 200 nautical mile, which is less the 320 nautical miles for a fetch distance. Therefore, comparing to this design concept without defining collision length, the concept defined in this paper is concluded to be more saver for open water as in Indonesia.

Weight of fuel, fresh water, ballast water, and other provision are not considered in this paper. The focus is on the principle geometry dimensions that satisfy Safety of Life at Sea (SOLAS). The dimensions arelength overall, length of waterline, length between perpendicular, maximum beam, draft and height, length of collision as the main expected achievement and in addition number of passengers. Length of collision is the main finding in this paper and as a new concept of designing high speed craft.

In case there is an effort to conclude this paper on a real design, verification of the dead weight tonnage of 432.5 tones should be conducted, then go on to design passenger deck layout. Locate watertight bulkhead based on regulation of “The international Convention of Safety of Life at Sea, for Subdivision of High Speed Craft. The work can be continued by General Planning and finished with Construction and Strength calculations.

5. CONCLUSION

A ship particular dimension has been defined as seen in Table 2. The new dimensions are considered worthy for high speed craft for the reason of satisfaction of some value such as;

- Principles dimensions as conceptual design are:
 - Length over all LOA = 46.80 m
 - Length of water line, LWL = 42.60 m
 - Length between perpendicular, LBP = 41.11 m
 - Height of hull H = 4.70 m
 - Draft T = 1.98 m
 - Service speed V = 12.88 m/s
- Collision acceleration $g_{coll} = 0.17 \text{ m/s}^2$. Very low and ensures comfort and safety.
- Number of passengers is 93 persons
- Cruising ranges in kilometers are less than 320 kilometers or less than fetch distance,
- For short trips in a day or overnight, passengers are safe as required by SOLAS, IMO and HSC.

REFERENCES

Adolf Tambunan, 2013, The Director of Traffic and Sea Transportation, Ministry of Transportation of the Republic of Indonesia, Workshop Tata Kelola Muatan Geladak Kapal Penumpang. [Workshop on the Governance of Deck Cargo onboard a Passenger Ship] Quoted from Repuclica.co.id, April 18, 2013.

Company Report, 1992, Aquastrada Fast Monohull Fast Ferry, Rodrigues CantieriNavaliSpA, MesinaItaly.Access, April 22, 2016

Google Earth, 2016, U.S Department of State Geographer, DATA SIO, NOAA,U.S Navy, NGA, GEBCO,@2009 GeoBasis-DE/BKG @2016 Google, access April 22,2016.

IMO. 2010; Maritime Safety
<http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Regulation/PassengersShip.aspx>, Access : April 18, 2016.

Marine Weather Guide Canada;<http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/Eng.pdf>, access: April 22,2016

PT. PELNI, [http:// pmtcargo.blogspot.co.id/rutekapalpelni](http://pmtcargo.blogspot.co.id/rutekapalpelni). Access.April 20. 2016

Ship form, Example; <http://pdf.nauticexpo.com/pdf/rodriquez/tmv>, access April 24, 2016

SOLAS, Chapter X. Reg.1.3,C100, point 2., “http://en.wikipedia.org/wiki/High-speed_craft”, Access : April 20,2016

SOLAS, International Code of Safety for High Speed Craft,
“http://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachmernt_data/file/292155/hsc_2000_rev06-09_full-com_all.pdf”, access: April 22,2016

Styhre, Linda,2009, Stevenson Per, SSPA Research Report No.126, 2004, Handbook on the Establishment of High Speed Craft Operation: http://www.transport-research.info/sites/default/files/project/documents/20100726_155359_58959_TOHPICR, aces: April 20, 2016

Wenehenubun, Frederikus, 1995, Test of Three Semiplaning Hull Form for Fast Marine Vehicles, Thesis, Technical University of Nova Scotia, Nova Scotia, Halifax, Canada

ANALYTICAL STUDY ON THE ILLUMINATION OF OFFICE TO SUPPORT HEALTHY WORKING SPACES

Fred Wenehenubun

Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering – Atma Jaya Catholic University of Indonesia-
Jln. Jend.Sudirman Kav. 51, Jakarta 12930 Indonesia
e-mail: frederikus.wen@atmajaya.ac.id, whenahand@gmail.com

ABSTRACT

Some, even more, offices are designed to rely on electrical lighting mostly and not on natural light. In fact, electrical lighting has potential for higher energy consumption and causes of health disorder. This paper focuses on analyzing the photometric illuminant based on mutual height or height of ceiling and space area of offices as needed to estimate room factor, number of light point, proper lighting efficiency, luminous flux in lumen, and luminous power in watt. The analysis is conducted to satisfy the standard of light brightness required as 500 lx. This paper presents comparison of the results of the analysis to the defined standard illumination characteristics recommended by America and Europe standards. Emphasizing that age of worker ranged from under 45 years to 60 years old and over are the most concern are the most concern. The result is a specified space area and mutual height that satisfy healthy working space condition. This paper also provides one type of lighting system and hope to be a corner stone for further study and architectural design of lighting system of offices.

Keywords : office lighting, room brightness, light point layout

1. INTRODUCTION

1.1 Back ground of problem

Recent research, conducted by Wenehenubun, Fred, to study illumination of offices, class-rooms, and laboratories in a university yield an amazing result that all lighting system including luminous flux and luminous power, lighting efficiency, light brightness, and room factor and space do not comply with any existing regulation. Most of all luminous powers are lower than minimum 500 lux.(lx) for typing-writing-and reading even for younger workers. For workers at age over 45 years suffer from an unconditional system. This paper has a philosophy to brake undefined system, open cognity and to lead to a system that support healthy working space. The fact is, as said by Dr. Bianca van der Zande, "Inadequate lighting can lead to visual discomfort, neck pain, headaches, fatigue, and perhaps eventually sick leave."

1.2 Statement of problem

The main problem in this study is what are the minimum mutual height, space area, and lighting system to support room factor, luminous flus or luminous power, lighting efficiency, and worthy light efficacy to create healthy working space.

1.3 The purpose of this paper

This paper aims to enhance understanding of lighting system criteriatio design it psychomotorically and affectively based on cognitive ones own.

1.4 Method of analytical reasoning

Analytical reasoning starts with defining standard room space in length, breadth, mutual height or height of ceiling, and room factor. Room space standard is adopted from Full-Time Faculty Space Standard-Office furniture typical as in University of Cincinnati. Once these geometry characters are set up, lighting efficiency as a function of room factor is calculated from known standard and this paper uses criteria formulated by Johannes Jansen in his Book: *Verlichtingstechniek ; Handleiding voor het ontwerpen van verlichtingsinstallaties*, published by De Technische Uitgeverij H. Stam – Haarlem, Netherlands, 1945. Luminous flux in lumen then is calculated from, the basic photometric standard adapted from Standard Measurement and Verification Plan. The plan is for Lighting Retrofit Project for Building and Building Sites. As required by European Lightng Standard – EN12464-1:2011: for "Light and lighting for work places-Part 1, for the case of indoor work places, a standard light level of 500 lx for office working as typing- and reading documents is the main requirement. IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) for light level by space recommands for this category varies from 300 lx to 500 lx. Somehow, the interesting fact as defined by Philip researchers which concluded that 500 lx light level is just for younger workers in the age of 20 years old, workers at the age of 45-s, almost double of light level is needed and at the age of 60-s light level become five time as younger workers. For further analysis illuminant level 500 lx will be used as standard, and 800 lx, 1500 lx, and 2500 lx are used accordingly.

This paper applies one of lighting system defined by Johannes Jansen where mutual height is equals to height ceiling as light point is placed on the surface of a ceiling. This paper relies on this architectural design to conduct analysis and to finish this study.

2. LITERATURE STUDY

2.1 General rule

According Johannes Jansen, the general rule for the standard or task related lighting is to put the light sources on the ceiling around the same distance as the height of work surface. This is assumed to be varied from 0.70 meter to 0.85 meters for offices in America, Europe, and Indonesia. This is not applicable if light point are placed at the ceiling or even deep into the ceiling as is given in Figure 1.

Light level or photopic illuminant according to Standard Measurement and Verification Plan for Lighting Retrofit Project for Building and Building Sites as stated by Richman E., E., 1995, is adopted to be appropriate for the task in both the baseline condition and the post-installation condition. Another regulation is European Lighting Standard – EN12464 -1:2011: "Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places." in its own lighting standards, 500 lx is the light level for office working as typing and reading document. Also about light level Philip researchers concluded that 500 lx light level is just for younger worker in the age of 20 year old, workers at age of 45-s, almost double of light level is needed and at the age of 60-s light level become five times as younger workers need. "Inadequate lighting can lead to visual discomfort, neck pain, headaches, fatigue, and perhaps eventually sick leave." as prominent of Bianca van der Zande, principal scientist at Philips Lighting.

2.2 Light Level

Especially for office, IESNA (Illuminating Engineering Society of North America), recommends light level by space for this category varies from 300 lx to 500 lx. In case lumen (lm) is the measurement of brightness, measured by converting from watt either for incandescent lamp or fluorescent lamp as LED (light emitting diode), the lower lumen LED is the best choice. This condition is commonly called watt-lumen conversion as quoted from the internet site :www.cnet.com/uk, shown in the following table.

Table 1. Watt-lumen conversion

Lu men(lm)	Incandesce nt(watt)	LED (watt)
2600	150	25 – 28
1600	100	16 – 20
1100	75	9 – 13
800	60	8 – 12
450	40	6 – 9

Adjusting the condition of illuminant level to Europe and North America Light Level Standard, and to watt-lumen conversion, a figure as reference is defined. Taking lower lux (lx) as 500 lx from Europe Standard, North America Standard and Philips designations of higher lux (lx) which is varied to meet the need of different ages, the analysis is conducted to obtain light level for offices, based on the variable of floor area, ceiling height, height of working surface, and useful height.

2.3 Architectural design of lighting system

Johanes Jonson, defined 4 types of standard room architectural lighting design as in the Figure 1.

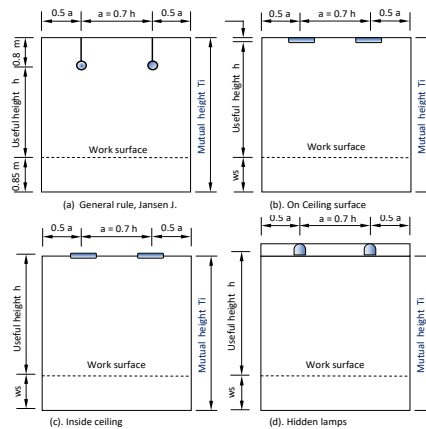


Figure 1. Architectural lighting system

2.3.1. Geometry of offices

In term of lighting point standard, defined by Johannes Jonson, offices, classroom and laboratory are classified based on the height of the ceiling. It is identified that all offices are designed to satisfy the standard of mutual height which is varied from 2.40 meter to 3.20 meters.

The dimension of offices is determined, for direct lighting system, by applying Standard Full-Time Faculty office space for dean as 250 square feet or (14 ft x 18 ft) which is converted to 23.50 square meter or (B = 4.27 m, L = 5.5 m) (University of Cincinnati, 2013). Space required for full-time faculty designed using Space Standard Guidance, from the same source, with the space area varied from 9.0 square meters to 12.6 square meters. The height of variable of ceiling or mutual height as defined by Johannes Jansen are varied from 2.40 meters to 3.20 meters. This combination is applied to define a series of conditions of lighting system for architectural design of Full-Time Faculty Space Standard-Office furniture typical as in (University of Cincinnati, 2003).

The combination used consists of 3 variations of space area : 9.0 m² or (B = 3.0 m, L = 3.0 m); 10.80 m² or (B = 3.0 m, L = 3.6 m), and 12.60 m² or (B = 3.15 m, L = 4.0 m) for full-time faculty excluding dean with larger space area of 23.50 m².

2.3.2 Illumination of office

2.3.2.1 Photopic Reasoning

Relying on the European Lighting Standard - EN12464 -1:2011, and Illuminating Engineering Society of North America - IESNA - for their recommendation concerning the brightness of office, a thorough reasoning is studied. The study is to evaluate the minimum need of lighting for offices in academic building in a university. Further, from the same sources one can learn that every design of space area must be standardized to meet minimum lumen used and to support a healthy working space. The space with a pleasant visual respond of eyes to the provided light source power. In term of luminous efficacy the visual respond as close as possible to the power at 555 nm wave length of light or the peak of efficacy at 683 lumen per watt. At this condition eyes sensitivity for light of luminous efficacy is 100% in the photopic region.

2.3.2.2 Architectural reasoning

A logical way in this paper to do analytical reasoning is based on the method defined by Johannes Jonson, 1945 which is still relevant to use. Lay out of light point on the existing office is adjusted to the standard. The following table shows existing architectural design, see Table 2, and logical design as formulated in Figure 1. Work surface heights are varied from 0.7 meters to 0.85 meters, see Table 3, to adjust to the height of workers and created pleasant sitting position to establish good and healthy working conditions. Standard layout and the number of lamps are analyzed for architectural reasoning as in architectural design of the lighting system, in this paper only Figure 1(c) is used.

Table 2. Lighting System

Work surface height, m	Useful height h, m	Light isle a=0.7h	Light to wall, 0.5a
Ws	h=Ti-ws	a=0.7h	0.5 a
Mutual height Ti = 2.40 m			
0.70	1.70	1.19	0.60
0.75	1.65	1.16	0.58
0.80	1.60	1.12	0.56
0.85	1.55	1.09	0.54
Mutual height Ti = 2.60 m			
0.70	1.90	1.33	0.67
0.75	1.85	1.30	0.65
0.80	1.80	1.26	0.63
0.85	1.75	1.23	0.61
Mutual height Ti = 2.80 m			
0.70	2.10	1.47	0.74
0.75	2.05	1.44	0.72
0.80	2.00	1.40	0.70
0.85	1.95	1.37	0.68
Mutual height Ti = 3.00 m			
0.70	2.30	1.61	0.81
0.75	2.25	1.58	0.79
0.80	2.20	1.54	0.77
0.85	2.15	1.51	0.75
Mutual height Ti = 3.20 m			
0.70	2.50	1.75	0.88
0.75	2.45	1.72	0.86
0.80	2.40	1.68	0.84
0.85	2.35	1.65	0.82

3. Calculation Of Light Standard Reasoning

3.1 Room space area based Analysis

As shown in Table 4., light standard for office space is analyzed to determine luminous flux ϕ as a function of number of light points N, room factor k, lighting efficiency η , light reflecting value LRV, and standard brightness of light p, for reading and writing according to the age of workers.

$$\phi = f(N, k, \eta, LRV, p, c) \quad (1)$$

Induction reasoning for this function is carried as;

3.1.1 Number of light N

The number of light point N, is defined by assuming the useful height is the same as the mutual height, see Figure 1(c). (Johannes Jansen, 1945), and N is determined 2 rows for the width and 2 rows for the length of the room. For the light points 2 light points or 4 light points according to calculated luminous power in watt.

3.1.2 Room factor k,

Room factor k, can be determined using the following equation (2), (Johannes Jansen, 1945), Table 3 gives k values.

$$k = \frac{0.8B + 0.2L}{h} \quad (2)$$

Table 3. Room factor k

Designation	Unit	Full – time faculty			Dean
		9.0	10.80	12.60	23.38
Office space	A, m ²	0			
Space	B, - m	3.0	3.00	3.15	4.27
		0			
	L, - m	3.0	3.60	4.00	5.50
Useful height		0			
	h	k	k	k	k
Ti 2.40 m	1.	1	1.	1.	2.
	70	.76	84	95	66
	1.	1	1.	2.	2.
	65	.82	89	01	74
	1.	1	1.	2.	2.
	60	.88	95	08	82
Ti 2.60 m	1.	1	2.	2.	2.
	55	.94	01	14	91
	1.	1	1.	1.	2.
	90	.58	64	75	38
	1.	1	1.	1.	2.
	85	.62	69	79	44
Ti 2.80 m	1.	1	1.	1.	2.
	80	.67	73	84	51
	1.	1	1.	1.	2.
	75	.71	78	90	58
	2.	1	1.	1.	2.
	10	.43	49	58	15
Ti 3.00 m	2.	1	1.	1.	2.
	05	.46	52	62	20
	2.	1	1.	1.	2.
	00	.50	56	66	26
	1.	1	1.	1.	2.
	95	.54	60	70	32
Ti 3.20 m	2.	1	1.	1.	1.
	30	.30	36	44	96
	2.	1	1.	1.	2.
	25	.33	39	48	00
	2.	1	1.	1.	2.
	20	.36	42	51	05
Ti 3.20 m	2.	1	1.	1.	2.
	15	.39	45	54	10
	2.	1	1.	1.	1.
Ti 3.20 m	50	.20	25	33	81
	2.	1	1.	1.	1.
Ti 3.20 m	45	.22	27	36	84

2.	1	1.	1.	1.
40	.25	30	38	88
2.	1	1.	1.	1.
35	.28	33	41	92

3.1.3 Lighting Efficiency η

An analysis is conducted to determine light efficiency η for predominantly direct lighting for new installation. From Table 11 for new installation; lighting efficiency is derived applying room factors calculated in Table 3. Table 4 provides different values of lighting efficiency η calculated room factor k.

Table 4. Lighting Efficiency
Light Reflection Value of wall 70%

Work surface (m)	Useful height (m)	Light aisle (m)	Light to wall (m)	Light efficiency for new installation							
				A = 9.00 m ² 3 x 3		A = 10.8 m ² 3 x 3.6		A=12.60 m ² 3.15 x 4		A=23.5 m ² 4.27 x 5.5	
Ws	h=Ti	a=0.7	0.	k	η	k	η	k	η	k	η
Mutual height Ti = 2.40 m											
0.70	1.70	1.19	0.60	1.76	0.43	1.84	0.43	1.95	0.44	2.66	0.50
0.75	1.65	1.16	0.58	1.82	0.43	1.89	0.44	2.01	0.45	2.74	0.50
0.80	1.60	1.12	0.56	1.88	0.43	1.95	0.44	2.08	0.46	2.82	0.51
0.85	1.55	1.09	0.54	1.94	0.44	2.01	0.45	2.14	0.46	2.91	0.51
Mutual height Ti = 2.60 m											
0.70	1.90	1.33	0.67	1.58	0.40	1.64	0.40	1.75	0.42	2.38	0.48
0.75	1.85	1.30	0.65	1.62	0.40	1.69	0.41	1.79	0.42	2.44	0.48
0.80	1.80	1.26	0.63	1.67	0.41	1.73	0.41	1.84	0.43	2.51	0.49
0.85	1.75	1.23	0.61	1.71	0.41	1.78	0.42	1.90	0.44	2.58	0.49
Mutual height Ti = 2.80 m											
0.70	2.10	1.47	0.74	1.43	0.38	1.49	0.38	1.58	0.40	2.15	0.46
0.75	2.05	1.44	0.72	1.46	0.38	1.52	0.39	1.62	0.40	2.20	0.46
0.80	2.00	1.40	0.70	1.50	0.39	1.56	0.39	1.66	0.41	2.26	0.47
0.85	1.95	1.37	0.68	1.54	0.39	1.60	0.40	1.70	0.41	2.32	0.47
Mutual height Ti = 3.00 m											
0.70	2.30	1.61	0.81	1.30	0.36	1.36	0.37	1.44	0.38	2.96	0.44
0.75	2.25	1.58	0.79	1.33	0.36	1.39	0.37	1.48	0.38	3.00	0.45
0.80	2.20	1.54	0.77	1.36	0.37	1.42	0.37	1.51	0.39	3.05	0.45
0.85	2.15	1.51	0.75	1.39	0.37	1.45	0.38	1.54	0.39	3.10	0.46
Mutual height Ti = 3.20 m											

0.70	2.50	1.75	0.88	1.20	0.35	1.25	0.35	1.33	0.36	1.81	0.43
0.75	2.45	1.72	0.86	1.22	0.35	1.27	0.36	1.36	0.37	1.84	0.43
0.80	2.40	1.68	0.84	1.25	0.35	1.30	0.36	1.38	0.37	1.88	0.43
0.85	2.35	1.65	0.82	1.28	0.36	1.33	0.36	1.41	0.37	1.92	0.44



Figure 2. Light reflecting value

3.1.4 Light Reflection Value (LRV)

Light Reflection Value (LRV) is determined by considering the color of paint of office satisfy the standard conditions for wall LRV 70% (by Johannes Jansen, 1945, ADAAG (The American with Disability Act Accessibility Guidelines), 2016). Light Reflectance Value (LRV) is the total quantity of visible and useable light reflected by a surface in all directions and at all wavelengths when illuminated by a light source. See Figure 2.

3.1.5 Standard of light brightness in lux or lumen per floor area of offices p.

If it is required to provide brightness or average horizontal illuminant to vary according to age of workers from 20 years old to 70 years old, then the following Table 5 gives the analysis of luminous flux or luminous power for each category. Calculation is based on the expression of;

$$\text{Brightness in lux} = \frac{\text{lumen(lm)}}{\text{Area(m}^2\text{)}} \quad (3)$$

then

$$\text{Lumen (lm)} = \text{area} \times \text{light brightness in lux (lx)} \quad (4)$$

$$\text{Luminous flux } \phi = \frac{\text{lm}}{\eta} \quad (5)$$

Standard brightness is defined to support healthy working conditions and related to age of workers. As indicated by Philip researcher (Van der Zande, B. 2001), standard 300 lx to 500 lx for workers in earlier or around 20 years of age, 500 lx is used in this paper. At age about 45 years it almost double, is determined 800 lx, and near 60 years of age three time, is 1500 lx, and above 60 years of age it is five time, is 2500 lx. The following table provides the brightness needed for discussion in this paper.

Table 5. Lumen per space area

$$\text{Lumen (lm)} = A (\text{area}) \times \text{lx (brightness in lux)}$$

Space areas	500 ≤ 45	800 > 45	1500 ± 60	2500 > 60
9.0 m ²	4500	7200	13500	22500
10.8 m ²	5400	8640	16200	27000
12.6 m ²	6300	10080	18900	31500
23.5 m ²	11750	18800	35250	58750

3.1.6 Luminous Efficacy c.

Luminous efficacy, as quantified in lumen per watt, is a measure of the ability of a light source to produce a visual respond from its power. The maximum luminous efficacy is 683 lumen per watt, (Arecchi, 2007) within photopic region at 555 nm wave length with 100 % eyes' sensitivity.

Since luminous power is in watt so important to convert lumen to watt by luminous efficacy (lm/W). As is described in Introduction, see Table 1, a LED lamp is the best choice. From (<http://www.m.made-in-china.com>,

2016), there are two well-known available type of LED lamps; LED T8-Tube lamp with luminous efficacy 120 lm/watt and AL-T8 series with luminous efficacy 140 lm/watt. Considering visual respond of human eyes or eyes sensitivity, therefore this paper will be using luminous efficacy 140 lm/watt.

3.2 Luminous flux ϕ in lumen and/or luminous power in watt

Luminous flux is calculated based on lighting efficiency η which has been determined as in Table 4, and lumen per space area as in Table 5. The luminofor flux values for different age of workers obtained from the calculation is used to determine proper brightness to support good and healthy working conditions. Concluding this work by considering the light reflection value (LRV) of wall which adapted from estimation of Johnnaes Jansen as 70 5. Table 6 provides results of luminous flux in lumen and Table 7 gives conversion values from luminous flux to luminous power in watt for this discussionus flux th.

3.3 Light level analysis based on mutual height and space area.

Under 45-year old the brightness 500 lx is the standard value. Over 45 year old the brightness is almost double of 500 lx and in this paper is estimated as 800 lx, see Table 1. For worker around 60 years old is estimated as 1500 lx, and over 60 year old the brightness is five times the brightness of 500 lx, in this paper is estimated as 2500 lx. Assuming all workers are over 20 - but under 70 - years old so the light level can be classified into four ranges of age that are under 45 year old, around 45-year old and around 60 years old and over 65 years old, then illumination of offices are presented accordingly.

Table 6. Luminous flux in lumen

Space area, m ²	9.00 m ²				10.80 m ²				12.60 m ²				23.50 m ²			
Brightness, lx	500.00	800.00	1500.00	2500.00	500.00	800.00	1500.00	2500.00	500.00	800.00	1500.00	2500.00	500.00	800.00	1500.00	2500.00
Age of worker	<45	>45	±60	>60	<45	>45	±60	>60	<45	>45	±60	>60	<45	>45	±60	>60
Lumen, lm	4500.00	7200.00	13500.00	22500.00	5400.00	8640.00	16200.00	27000.00	6300.00	10080.00	18900.00	31500.00	11750.00	18800.00	35250.00	58750.00
Ws	η	ϕ	ϕ	ϕ	η	ϕ	ϕ	ϕ	η	ϕ	ϕ	ϕ	η	ϕ	ϕ	ϕ
Mutual height Ti = 2.40 m																
0.70	0.43	10465.12	16744.19	31395.35	52325.58	0.43	12558.14	20093.02	37674.42	62790.70	0.44	14318.18	22909.09	42954.55	71590.91	-
0.75	0.43	10465.12	16744.19	31395.35	52325.58	0.44	12272.73	19636.36	36818.18	61363.64	0.45	14000.00	22400.00	42000.00	70000.00	-
0.80	0.43	10465.12	16744.19	31395.35	52325.58	0.44	12272.73	19636.36	36818.18	61363.64	-	-	-	-	-	-
0.85	0.44	10227.27	16363.64	30681.82	51136.36	0.45	12000.00	19200.00	36000.00	60000.00	-	-	-	-	-	-
Mutual height Ti = 2.60 m																
0.70	0.40	11250.00	18000.00	33750.00	56250.00	0.40	13500.00	21600.00	40500.00	67500.00	0.42	15000.00	24000.00	45000.00	45000.00	-
0.75	0.40	11250.00	18000.00	33750.00	56250.00	0.41	13170.73	21073.17	39512.20	65853.66	0.42	15000.00	24000.00	45000.00	45000.00	-
0.80	0.41	10975.61	17560.98	32926.83	54878.05	0.41	13170.73	21073.17	39512.20	65853.66	0.43	14651.16	23441.96	43953.49	43953.49	-
0.85	0.41	10975.61	17560.98	32926.83	54878.05	0.42	12857.14	20571.43	38571.43	64285.71	0.44	14318.18	22909.09	42954.55	42954.55	-
Mutual height Ti = 2.80 m																
0.70	0.38	11842.11	18947.37	35526.32	59210.53	0.38	14210.53	22736.94	42631.58	71052.43	0.40	15750.00	25200.00	47250.00	47250.00	-
0.75	0.38	11842.11	18947.37	35526.32	59210.53	0.39	13846.15	22153.85	41538.46	69230.77	0.40	15750.00	25200.00	47250.00	47250.00	-
0.80	0.39	11538.46	18461.54	34615.38	57692.31	0.39	13846.15	22153.85	41538.46	69230.77	0.41	15365.85	24585.37	46097.56	46097.56	-
0.85	0.39	11538.46	18461.54	34615.38	57692.31	0.40	13500.00	21600.00	40500.00	67500.00	0.41	15365.85	24585.37	46097.56	46097.56	-
Mutual height Ti = 3.00 m																
0.70	0.36	12500.00	20000.00	37500.00	62500.00	0.37	14594.59	23351.35	43783.78	72972.97	0.38	16578.95	26526.32	49736.84	49736.84	0.44
0.75	0.36	12500.00	20000.00	37500.00	62500.00	0.37	14594.59	23351.35	43783.78	72972.97	0.38	16578.95	26526.32	49736.84	49736.84	0.45
0.80	0.37	12162.16	19459.46	36486.49	60810.81	0.37	14594.59	23351.35	43783.78	72972.97	0.39	16153.85	25846.15	48461.54	48461.54	0.45
0.85	0.37	12162.16	19459.46	36486.49	60810.81	0.38	14210.53	22736.94	42631.58	71052.43	0.39	16153.85	25846.15	48461.54	48461.54	-
Mutual height Ti = 3.20 m																
0.70	0.35	12857.14	20571.43	38571.43	64285.71	0.35	15428.57	24685.71	46285.71	77142.86	0.36	17500.00	28000.00	52500.00	52500.00	0.43
0.75	0.35	12857.14	20571.43	38571.43	64285.71	0.36	15000.00	24000.00	45000.00	75000.00	0.37	17027.03	27243.24	51081.08	51081.08	0.43
0.80	0.35	12857.14	20571.43	38571.43	64285.71	0.36	15000.00	24000.00	45000.00	75000.00	0.37	17027.03	27243.24	51081.08	51081.08	0.43
0.85	0.36	12500.00	20000.00	37500.00	62500.00	0.36	15000.00	24000.00	45000.00	75000.00	0.37	17027.03	27243.24	51081.08	51081.08	0.44

Table 7. Conversion of luminous flux to watt

Space area, m ²	9.00 m ²				10.80 m ²				12.60 m ²				23.50 m ²			
Brightness, lx	500.00	800.00	1500.00	2500.00	500.00	800.00	1500.00	2500.00	500.00	800.00	1500.00	2500.00	500.00	800.00	1500.00	2500.00
Lumen, lm	4500.00	7200.00	13500.00	22500.00	5400.00	8640.00	16200.00	27000.00	6300.00	10080.00	18900.00	31500.00	11750.00	18800.00	35250.00	58750.00
Ws	η	watt	watt	watt	η	watt	watt	watt	η	watt	watt	watt	η	watt	watt	watt
Mutual height Ti = 2.40 m																
0.70	0.43	74.75	119.60	224.25	373.75	0.43	89.70	143.52	269.10	448.50	0.44	102.27	163.64	306.82	511.36	-
0.75	0.43	74.75	119.60	224.25	373.75	0.44	87.66	140.26	262.99	438.31	0.45	100.00	160.00	300.00	500.00	-
0.80	0.43	74.75	119.60	224.25	373.75	0.44	87.66	140.26	262.99	438.31	-	-	-	-	-	-
0.85	0.44	73.05	116.88	219.16	365.26	0.45	85.71	137.14	257.14	428.57	-	-	-	-	-	-
Mutual height Ti = 2.60 m																
0.70	0.40	80.36	128.57	241.07	401.79	0.40	96.43	154.29	289.29	482.14	0.42	107.14	171.43	321.43	321.43	-
0.75	0.40	80.36	128.57	241.07	401.79	0.41	94.08	150.52	282.23	470.38	0.42	107.14	171.43	321.43	321.43	-
0.80	0.41	78.40	125.44	235.19	391.99	0.41	94.08	150.52	282.23	470.38	0.43	104.65	167.44	313.95	313.95	-
0.85	0.41	78.40	125.44	235.19	391.99	0.42	91.84	146.94	275.51	459.18	0.44	102.27	163.64	306.82	306.82	-
Mutual height Ti = 2.80 m																
0.70	0.38	84.59	135.34	253.76	422.93	0.38	101.50	162.41	304.51	507.52	0.40	112.50	180.00	337.50	337.50	-
0.75	0.38	84.59	135.34	253.76	422.93	0.39	98.90	158.24	296.70	494.51	0.40	112.50	180.00	337.50	337.50	-
0.80	0.39	82.42	131.87	247.25	412.09	0.39	98.90	158.24	296.70	494.51	0.41	109.76	175.61	329.27	329.27	-
0.85	0.39	82.42	131.87	247.25	412.09	0.40	96.43	154.29	289.29	482.14	0.41	109.76	175.61	329.27	329.27	-
Mutual height Ti = 3.00 m																
0.70	0.36	89.29	142.86	267.86	446.43	0.37	104.25	166.80	312.74	521.24	0.38	118.42	189.47	355.26	355.26	0.44
0.75	0.36	89.29	142.86	267.86	446.43	0.37	104.25	166.80	312.74	521.24	0.38	118.42	189.47	355.26	355.26	0.45
0.80	0.37	86.87	139.00	260.62	434.36	0.37	104.25	166.80	312.74	521.24	0.39	115.38	184.62	346.15	346.15	0.45
0.85	0.37	86.87	139.00	260.62	434.36	0.38	101.50	162.41	304.51	507.52	0.39	115.38	184.62	346.15	346.15	-
Mutual height Ti = 3.20 m																
0.70	0.35	91.84	146.94	275.51	459.18	0.35	110.20	176.33	330.61	551.02	0.36	125.00	200.00	375.00	375.00	0.43
0.75	0.35	91.84	146.94	275.51	459.18	0.36	107.14	171.43	321.43	535.71	0.37	121.62	194.59	364.86	364.86	0.43
0.80	0.35	91.84	146.94	275.51	459.18	0.36	107.14	171.43	321.43	535.71	0.37	121.62	194.59	364.86	364.86	0.43
0.85	0.36	89.29	142.86	267.86	446.43	0.36	107.14	171.43	321.43	535.71	0.37	121.62	194.59	364.86	364.86	0.44

4. RESULTS AND DISCUSSION

As seen in Table 6, luminous flux in lumen, by applying lighting efficiency $\eta = 35\% - 45\%$, the mutual height of 2.40 meters is only good for space areas of 9.0 square meters and 10.80 square meters for all work surface heights. For space area of 12.6 square meters, maximum lighting efficiency obtained for height of work surface 0.70 meters and 0.75 meters. Space area of 23.50 square meters is not applicable for designing office with mutual height from 2.40 meter to 2.80 meters and at the mutual height of 3.00 meters maximum work surface height is 0.80 meters and not applicable for the height of work surface of 0.85 meters.

In defining good mutual height and space area, lighting efficiency will be the pivot point to rely on. It is defined, as:

$$\eta = \frac{\phi_{\text{work surface area}}}{\phi_{\text{lamp}}} \quad (6)$$

Hence;

$$\phi_{\text{work surface area}} = \eta \cdot \phi_{\text{lamp}} \quad (7)$$

If predominantly direct lighting is decided then referring to the understanding of Fig. 119, point (b), p: 152, the η values close to 32.5% is good to use. To clarify this statement Table 6 and Table 7, are considered for space area and mutual height and ends up to choose mutual height 3.20 meter with space area 9.0 square meter is defined as condition used to design full-time faculty office. For dean office, based on the same analysis, mutual height 3.20 meters and space area 23.50 square meters with the lighting efficiency close to 32.5% among all variation is chosen.

In Table 7 giving the luminous power in watt (W), and complying with the need for the lighting efficacy of 35% to 45% and for, the values of the lighting efficiency larger than the defined range are not analyzed. To reduce the possibility of heat formation as watt is equals to energy used in joule per second, a parallel circuit of two-lamp tubes is introduced to create lower LED lamp watt but full brightness. In a parallel circuit light power is double of two single lamps.

$$P = IV \quad (8)$$

where P is the power, I is current and V is potential.

In parallel circuit $I = P/V$, let say $P = 25$ watt, and $V = 220$ volt, then $I = 25/220 \text{ volt} = 0.114\text{A}$ and in parallel circuit, all the lamps are in their full brightness. Total light power, for 2 lamps in parallel, $P_{\text{tot}} = 2IV = 2(0.114) \times 220 \text{ V} = 50$ watt.

When the standard of NFPA 70, National Electrical Code, 2005 Edition is used. Quoted from Article 605.5 point (B) Connection, p: 70-488, states that for electrical connection where cord and plug connection is provided, the cord length shall be suitable for the intended application but shall not exceed 2.7 meters or 9 feet in length. The analysis is carried out by adopting this rule to define suitable mutual heights and space areas for offices of full-time faculty, including dean, with plug position. An on-off switch position of lamps which is assumed as 1.45 meters height from floor. The following description gives the required conditions.

Cord length, l in meter, is estimated as:

$$l = (T_i - 1.40) + 0.35 h \quad (9)$$

where; T_i is mutual height, and $0.35 h$ is determined from equation of distance between light point and distance between light point and wall.

Distance between light point a;

$$a = 0.7h \quad (10)$$

Distance between light point and wall, d;

$$d = 0.5 a \quad (11)$$

then additional cord length l_a ;

$$l_a = 0.5 (0.7 h) = 0.35 h \quad (12)$$

Maximum mutual height T_i and useful height h as in Table 3 Lighting system are $T_i = 3.20$ meters and $H = 2.5$ meter, if are applied to equation (7) gives;

$$l = (3.2 - 1.40) + 0.35 h = 2.675 \text{ m or approximately } 2.7 \text{ meters.}$$

In fact in this analysis, there is no direct connection from the electric supply line to the light point in any office lighting system. therefore the cord length l is always less than 2.7 meter. In case the line is directly connected to the light point, all conditions discussed in this paper not is exceeded 2.7 meters.

Table 9 gives conditions for mutual heights and space areas selected as proper to design office geometry for full-time faculty. Table 10 provides chosen conditions.

Table 8. Full –time faculty office; Space area 9.0 m² ; mutual height 3.20 m

Brightnes Worker age Lumen,w ork surface , lm w s η	Total luminous power, watt				Luminous power per N = 2,				Luminous power per N = 4			
	5	8	15	25	5	8	15	25	5	8	15	25
	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
	<	>	±6	>6	<	>	±6	>6	<	>	±6	>6
	45	45	0	0	45	45	0	0	45	45	0	0
4	7	13	22	4	7	13	22	4	7	13	22	
500	200	500	500	500	200	500	500	500	200	500	500	
w att	w att	w att	w att	w att	w att	w att	w att	w att	w att	w att	w att	
0. 70	0 .35	9 2	1 47	27 6	45 9	4 6	7 3	13 8	23 0	2 3	3 7	11 69
0. 75	0 .35	9 2	1 47	27 6	45 9	4 6	7 3	13 8	23 0	2 3	3 7	11 69
0. 80	0 .35	9 2	1 47	27 6	45 9	4 6	7 3	13 8	23 0	2 3	3 7	11 69
0. 85	0 .36	8 9	1 43	26 8	44 6	4 5	7 1	13 4	22 3	2 2	3 6	11 67

Table 9. Dean office: Space area 23.50 m², mutual height 3.20 m

Brightness, Worker age Lumen work surface, lm w s η	Total luminous power , watt				Luminous power per N = 2,				Luminous power per N = 4,				
	5	8	15	25	5	8	15	25	5	80	15	25	
	00	00	00	00	00	00	00	00	00	0	00	00	
	<	>	±6	>6	<	>	±6	>6	<	>	±6	±6	
	45	45	0	0	45	45	0	0	45	45	0	0	
	4	7	13	22	4	7	13	22	4	72	13	13	
	500	200	500	500	500	200	500	500	500	00	500	500	
	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	
	att	att	att	att	att	att	att	att	att	att	att	att	
0.	0	2	3	69	11	1	1	35	58	5	17	17	
70	.43	33	73	9	66	17	87	0	3	8	93	5	5
0.	0	2	3	68	11	1	1	34	56	5	17	17	
75	.43	27	63	1	34	13	81	0	7	7	91	0	0
0.	0	2	3	68	11	1	1	34	56	5	17	17	
80	.43	27	63	1	34	13	81	0	7	7	91	0	0
0.	0	2	3	68	11	1	1	34	56	5	17	17	
85	.44	27	63	1	34	13	81	0	7	7	91	0	0

5. CONCLUSION

The requirement of light level or illuminant and energy saving lead to finding a proper system and from the results of the analysis during this study, some findings to be revealed are;

1. The best mutual height for lighting system design is 3.20 m for full-time faculty and dean offices.
2. Lighting efficiency for full-time faculty office varies from 35 % to 36 %, for dean office the value varies from 43 % to 44 %.
3. All conditions of mutual height, useful height in term of electrical cord length less than 2.7 m as require by NFPA 70- 2005 Edition.
4. The number of light point N = 2 is proper for full-time faculty office and N = 4 for dean office, to reduce energy creating heat inside the office.
5. This paper present only one lighting system of the four existing systems, but it provides luminous power to use for office design.

REFERENCES

- Arecchi, T. Messadi, and R. J. Koshe, *Field Guide to Illumination*, SPIE Press, Bellingham, WA (2007).<http://spie.org/publications/book/764682>, access 16 September 2018.
- European Lighting Standard – EN12464 -1:2011: “Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places.” in its own lighting standards, 500 lx is the light level for office working as typing and reading document (<https://www.cnet.com/uk/how-to/five-things-to-consider-before-buying-led-bulbs/>, watt-lumen conversion, access 16 September 2016 dan <https://www.m.made-in-china.com>, High quality high luminous efficacy 120 lm/W- 18W T8 LED Tube Light interior lighting, Office plant LED lighting, access, 23 December 2016
- IESNA-Illumination Engineering Society of North America; <https://www.archtoolbox.com/materials-systems/electrical/recommended-lighting-levels-in-buildings.html>, access 15 September 2016.
- Jansen, Joh., 1945, *Verlichtingstechniek; Handleiding voor het ontwerpen van verlichtingsinstallaties*, De Technische Uitgeverij H. Stam – Haarlem, The Netherlands.
- LRV Chart, British Standard BS 8300:2001/A1:2005, <http://thelandofcolor.com/lrv-light-reflectance-value-of-paint-colors/> access 15 September 2018
- NFPA 70, National Electrical Code, 2005 Edition, Article 605.5 point (B) Connection, p: 70-488, NFPA, 1 Batterymark Park, Quincy, MA 02169-7471, An International Codes and Standards Organization. U.S.A
- Philip Researchers; Bianca van der Zande, principal scientist at Philips Lighting, https://www.researchgate.net/profile/Bianca_Zande, access 15 September 2018
- Richman, E., E. , Standard Measurement and Verification Plan for Lighting Retrofit Project for Building and Building Sites. The Occupational Safety and Health Administration (OSHA) for workers using LCDs, access 15 September 2016.
- University of Cincinnati; Design Guidance: Office Space standard furniture typical, 2003, <http://www.uc.edu/architects/document/>, access 22 Desember 2016

PENGUJIAN PROKSIMASI LIMBAH KULIT BIJI JAMBU MENTE HASIL PIROLISIS

Inong Oskar¹, Andi Erwin Eka Putra², Effendy Arif³

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Makassar
Jl. Tanjung Alang No.23, Makassar
+6281241962672

²Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Makassar

³Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Makassar

E-Mail: inongoskar18@uajm.co.id

ABSTRAK

Pengolahan gelondong jambu mente akan menghasilkan daging biji mente (kernel sebagai produk makanan) dan hasil sampingannya berupa limbah kulit biji mente yang dilepas bebas di alam. Kulit mente mengandung minyak laka atau Cashew Nut Shell Liquid (CNSL), yang tidak dapat digunakan sebagai bahan pangan tetapi digunakan untuk berbagai macam keperluan industri. Beberapa daerah di Indonesia masyarakatnya menggunakan arang kulit biji jambu mente untuk memanaskan kacang mente pada saat pengupasan kulit ari. Dalam proses pembuatan arang ada sejumlah energi yang terbuang percuma ke udara dalam bentuk gas. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui berapa besar kandungan Moisture (M), Ash (A), Volatile Matter (VM), Fixed Carbon (FC) dan High Heating Value (HHV) limbah kulit biji jambu mente hasil pirolisis. Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pengujian proksimasi pada limbah kulit biji jambu mente sebelum pirolisis (temperatur kamar) dan setelah pirolisis yang dipanaskan pada temperatur 600 °C dan 900 °C. Hasil pengujian proksimasi limbah kulit biji jambu mente dengan teknologi pirolisis pada temperatur 600 dan 900 °C dapat menurunkan nilai kadar air sebesar 20.35-27.77 %, menaikkan nilai kadar abu 713.5-892%, menurunkan nilai VM sebesar 30.40-35.34 %, menaikkan nilai FC sebesar 525.09-539.15 % dan menaikkan High Heating Value (HHV) sebesar 329.9-349.3 %.

Kata kunci: Jambu Mente, Pirolisis, Hasil Uji Proksimasi.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia sangat kaya sumber daya alam, salah satunya adalah jambu mente (*Anacardium Occidentale*) yang juga dikenal juga dengan berbagai nama seperti jambu mède (Sd.); jambu mété atau jambu ménté (Jw.) atau jambu monyet. Pengolahan kulit biji jambu mente dilakukan dengan beberapa metode yakni : penyangraian, penggorengan, pengempaan dan ekstraksi dengan pelarut kimia (Towaha and Ahmadi, 2011). Masyarakat di beberapa daerah di Indonesia menggunakan arang kulit biji jambu mente untuk memanaskan kacang mente pada saat pengupasan kulit ari. Pemanfaatan limbah kulit biji mente sebagai energi alternatif belum maksimal. Produksi mente gelondongan dalam skala nasional berada di kisaran 156.000 ton per tahun, jumlah ini tidak mengalami peningkatan berarti selama 10 tahun terakhir. Penghasil mente utama adalah Sulawesi Tenggara (24,85% produksi nasional), Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah (17,89 %), NTT, NTB, Bali (37,95%) serta Jawa- Madura (23,80%). Biji kacang mente umumnya memiliki berat rata-rata 5-6 gr, panjang 2,5-3,5 cm, lebar 2 cm, dan tebal 1,0-1,5 cm. Biji jambu mente terdiri atas kulit biji jambu mente 70% berat rata-rata, dan daging isi (kernel) sebesar 30% berat rata-rata (Randriani Enny, 2011). Karena biji jambu mente terdiri atas kulit biji jambu mente 70 % dari berat total biji jambu mente dan kernel 30 % dari berat total biji jambu mente (Arif, 2008), kulit biji mente mengandung 32-37% minyak laka atau *cashew nut shell liquid* (CNSL) (Astriani, Dinarto and Sambodo, 2014) maka dari produksi biji jambu mente ini diperoleh limbah kulit biji jambu mente sekitar 109.000 ton per tahun sehingga potensi ini cukup besar untuk dijadikan bahan bakar biomassa sebagai bahan bakar alternatif. Kulit dari pengolahan kacang mente mengandung energi yang tinggi dan berpotensi menggantikan kayu bakar untuk aplikasi termal di pabrik. Namun, pembakaran langsung cangkang kacang mente itu merepotkan karena efisiensi rendah dan emisi asap yang tinggi (Tippayawong *et al.*, 2011). Pembakaran dengan udara terbuka adalah cara terbaik untuk menghilangkan zat padat limbah kulit biji jambu mente (Couto, 2004) tetapi untuk mendapatkan produk baru misalnya gas, minyak, tar ataupun arang dari limbah kulit biji jambu mente ini memerlukan teknologi gasifikasi atau pirolisis (Uamusse *et al.*, 2014). Secara umum, gasifikasi melibatkan 4 tahapan proses berupa drying, pirolisis, oksidasi parsial dan reduksi. Drying merupakan proses penguapan kandungan air didalam biomassa melalui pemberian panas pada interval suhu 100~300°C. Drying dilanjutkan dengan dekomposisi termal kandungan volatile matter berupa gas dan menyisakan arang karbon, dimana proses ini biasa disebut pirolisis. Pirolisis merupakan proses eksoterm yang

melepas sejumlah panas pada interval suhu 300~900°C (Roddy and Manson-Whitton, 2012). Selanjutnya sisa arang karbon akan mengalami proses oksidasi parsial, dimana proses ini merupakan proses eksoterm yang melepas panas pada interval suhu diatas 900°C. Panas yang dilepas dari oksidasi parsial ini digunakan untuk mengatasi kebutuhan panas dari reaksi reduksi endotermis dan untuk memecah hidrokarbon yang telah terbentuk selama proses pirolisis. Proses reduksi gas CO₂ dan H₂O ini terjadi pada interval suhu 400~900°C (M. Affendi, Sugiyatno, Imam Djunaedi, 2010). Pemanfaatan Kulit biji jambu mente di Indonesia belum dimanfaatkan secara maksimal, dimana limbah kulit biji jambu mente merupakan limbah biomassa hasil perkebunan (Tajalli Arief, 2015). Pengembangan agroindustri jambu mente (*Anacardium occidentale*.L.) dapat memberikan nilai tambah yang cukup besar terutama gelondong mente menjadi kacang mente. pengolahan limbah kulit biji jambu mente menjadi CNSL (*Cashew Nut Shell Liquid*) (Subramaniam and Kumar Ponnusamy, 2015) sampai saat ini belum menyentuh industri rumah tangga. Senyawa CNSL merupakan cairan kental berwarna coklat tua hasil ekstraksi dari kulit biji jambu mente. Kandungan CNSL pada kulit biji jambu mente adalah 30-35% (Lukas Budi Warsono et al, 2013). Sampai saat ini di Indonesia kulit biji jambu mente belum dimanfaatkan secara maksimal, sebagian besar masih merupakan limbah, dibakar atau dibuang sebagai sampah sehingga produksi CNSL masih sangat rendah (Towaha and Ahmadi, 2011).

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana hasil proksimasi kulit biji jambu mente pada temperatur kamar 27°C (tampa pemanasan), temperatur pemanasan 600°C dan temperatur pemanasan 900°C ?

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa besar kandungan Moisture (M), Ash (A), Volatile Matter (VM), Fixed Carbon (FC) dan High Heating Value (HHV) limbah kulit biji jambu mente dengan pengujian proksimasi.

1.2 Tinjauan Pustaka

Biomassa adalah bahan biologis yang berasal dari makhluk hidup, baik itu masih hidup ataupun yang baru mati dapat digunakan sebagai sumber energi, yang mencakup materi tumbuhan dan hewan. Biomassa adalah sumber daya terbarukan yang bisa dikembangkan secara berkelanjutan di masa depan (Syukri M Nur dan Jusri Jusuf, 2014). Keuntungan besar dari biomassa adalah bahwa ia tersedia bebas dan melimpah di daerah yang beriklim sedang dan tropis (Nersesian.R.L, 2010). Contoh biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Selain digunakan untuk tujuan primer serat, bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar).

Persyaratan sebagai biomassa meliputi semua materi tumbuhan organik serta limbah organik baik yang berasal dari tumbuhan, manusia, hewan, dan kehidupan perairan atau laut (Michaelides.E, 2012). Biomassa adalah material yang berasal dari tumbuhan maupun hewan termasuk manusia. Namun biomassa dalam sudut pandang industri juga berarti material biologis yang bisa diubah menjadi sumber energi atau material industri. Biomassa terdiri atas senyawa makromolekul alami seperti selulosa, lignin, dan protein. Ada berbagai jenis biomassa dengan kadar air yang tinggi disebabkan biomassa berasal dari organisme hidup. Biomassa memiliki rentang kadar air yang luas mulai dari biomassa jenis kering seperti kayu kering dan sisa kertas dengan kadar air sebanyak 20% sampai biomassa dengan kadar air melebihi 95% seperti mikroalga, sisa fermentasi, dan endapan (Yokoyama, 2008).

Secara umum teknologi konversi biomassa menjadi bahan bakar dapat dibedakan menjadi tiga yaitu pembakaran langsung, konversi termokimiawi dan konversi biokimiawi. Pembakaran langsung merupakan teknologi yang paling sederhana karena pada umumnya biomassa telah dapat langsung dibakar. Beberapa biomassa perlu dikeringkan terlebih dahulu dan didensifikasi untuk kepraktisan dalam penggunaan. **Pirolisis** adalah penguraian biomassa (*lysis*) karena panas (*pyro*) pada temperatur yang lebih dari 150°C, dimana dekomposisi termokimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen (Rezaiyan.J et al, 2005).

Analisis proksimasi adalah metode uji standar untuk mengevaluasi bahan bakar padat berupa kandungan Moisture (M), Ash (A), Volatile Matter (VM), Fixed Carbon (FC) dan High Heating Value (HHV) (Sugathapala.A.G, 2013).

1.3 Metodologi Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan menggunakan material dasar limbah kulit biji jambu mente dengan tiga sampel. Dimana pengujian proksimasi pada limbah kulit biji jambu mente

sebelum pirolisis pada temperatur kamar (27 °C) dan setelah pirolisis yang dipanaskan pada temperatur 600 °C dan 900 °C dengan langkah-langkah sebagai berikut: Langkah pertama menyiapkan sampel; Langkah kedua melakukan proses pirolisi di Laboratorium terpadu Universitas Atma Jaya Makassar untuk sampel kedua dan sampel ketiga pada temperatur 600 °C dan 900°C; Langkah ketiga melakukan pengujian proksimasi untuk ketiga sampel di Laboratorium Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin .

2. PEMBAHASAN

Hasil uji proksimasi limbah kulit biji jambu mente seperti tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Hasil uji proksimasi

No.	Temperatur Pemanasan (°C)	KOMPOSISI (%)				HHV (Kkal/kg)
		M	A	V M	F C	
1	27 (Temperatur kamar dan tanpa pemanasan)	13.61	1.77	73.67	1.095	1962
2	600	3.78	12.63	26.04	57.55	6853
3	900	2.77	15.79	22.40	59.04	6474

Berdasarkan data tabel 1 hasil pengujian proksimasi ini diperoleh: Moisture terbaik berada pada temperatur 900 °C sebesar 2.77 %. Volatile matter memegang peranan penting karena ikut menentukan sifat-sifat pembakaran seperti efisiensi pembakaran karbon atau carbon loss on ignition. Volatile matter yang tinggi menyebabkan material mudah sekali terbakar dan nilai VM tertinggi sebesar 73.67 % pada *material tanpa pemanasan*, Nilai FC terbesar sebesar 59.04 % pada temperatur 900 °C dan nilai HHV terbesar pada temperatur 600 °C sebesar 6853 Kkal/kg atau 349.28 % lebih besar dibandingkan dengan HHV kulit biji jambu mente tanpa proses pirolisis, sehingga untuk mendapatkan HHV yang tinggi perlu dilakukan prosespirolisis.

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pengujian proksimasi limbah kulit biji jambu mente dengan teknologi pirolisis pada temperatur 600-900°C dapat menurunkan nilai kadar air sebesar 20.35-27.77 %, menaikkan nilai kadar abu 713.5-892%, menurunkan nilai VM sebesar 30.40-35.34 %, menaikkan nilai FC sebesar 525.09-539.15 % dan menaikkan High Heating Value (HHV) sebesar 329.9-349.3 %.

PUSTAKA

- Arif, E. (2008) 'Pengolahan Limbah Kulit Jambu Mente Sebagai Sumber Bahan Bakar Alternatif', (November), pp. 1-7.
- Astriani, D., Dinarto, W. and Sambodo, R. (2014) 'Pengaruh Jenis Pelarut Dan Konsentrasi Ekstrak Kulit Biji Mete Terhadap Sitophilus Zeamais Pada Penyimpanan Benih Jagung', in *Prosiding SNKP*. Yogyakarta, pp. 240-248. Available at: <http://lppm.mercubuana-yogya.ac.id/wp-content/uploads/2015/05/Dian-Astriani.pdf>.
- Couto, H. (2004) 'Biomass Combustion Chamber for Cashew Nut Industry', ... *on Combustion and ...*, pp. 1-5. Available at: <http://bibdigital.sid.inpe.br/rep-/lcp.inpe.br/ignes/2004/12.17.07.46>.
- M. Affendi, Sugiyatno, Imam Djunaedi, H. W. (2010) 'Uji Variasi Beban Listrik Dan Rasio Gas Hasil Gasifikasi Sekam Padi Pada Mesin Diesel Dual Fuel'. Semarang. Available at: <http://eprints.undip.ac.id/19417/1/D-01.pdf>.

Nersesian, R.L (2010) *Energy For The 21st Century*. 2nd edn. New York: M.E.Sharpe, Inc.

Pengepresan, M. M. (2013) 'Ekstraksi cashew nut shell liquid (cnsL) dari kulit biji mete dengan menggunakan metode pengepresan extraction cashew nut shell liquid (cnsL) from chasew nut shell using pressing method', 2(2).

- Randriani Enny, L. D. dan S. (2011) 'Kekerabatan Plasma Nutfah Jambu Mete Berdasarkan Marka Random Amplified Polymorphic Dna', in. Sukabumi. Available at: <https://media.neliti.com/media/publications/133196-ID-kekerabatan-plasma-nutfah-jambu-mete-ber.pdf>.
- Rezaian.J et al (2005) *Gasification Technologies*. Edited by H. Heinemann. Berkeley, California-USA: Taylor & Francis Group.
- Roddy, D. J. and Manson-Whitton, C. (2012) *Biomass gasification and pyrolysis, Comprehensive Renewable Energy*. doi: 10.1016/B978-0-08-087872-0.00514-X.
- Subramaniam, R. and Kumar Ponnusamy, S. (2015) 'Novel adsorbent from agricultural waste (cashew NUT shell) for methylene blue dye removal: Optimization by response surface methodology', *Water Resources and Industry*. Elsevier, 11, pp. 64–70. doi: 10.1016/j.wri.2015.07.002.
- Sugathapala.A.G (2013) *Technologies for Converting Waste Agricultural Biomass To Energy*. Osaka: United Nations Environmental Programme Division of Technology, Industry and Economics International Environmental Technology Centre Osaka June 2013.
- Syukri M Nur dan Jusri Jusuf (2014) *Biomassa-Bahan Baku dan Teknologi Konversi Untuk Energi Terbarukan*. Bogor.
- Tajalli Arief (2015) *Potensi Biomassa Sebagai Sumber Energi Alternatif di Indonesia*. Jakarta: Penabulu Alliance.
- Tippayawong, N. *et al.* (2011) 'Application of biomass gasification system as a sustainable energy technology to improve efficiency and reduce smoke emission from sterilization of mushroom growing substrates', *Recent Advances in Environment, Energy Systems and Naval Science - Proc. of the 4th Int. Conf. on Environmental and Geological Science and Engineering, EG'11, ICESEET'11, MN'11*, pp. 42–46. Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-81755181423&partnerID=tZOtx3y1>.
- Towaha, J. and Ahmadi, N. R. (2011) 'Pemanfaatan Cashew Nut Shell Liquid Sebagai Sumber Fenol Alami Pada Industri', 2(2), pp. 187–198.
- Uamusse, M. M. *et al.* (2014) 'Gasification of Cashew Nut Shell Using Gasifier Stovein Mozambique', *Journal of Power and Energy Engineering*, 2(July), pp. 11–18.
- Yokoyama, S. (2008) 'Buku Panduan Biomassa Asia: Panduan untuk Produksi dan Pemanfaatan Biomassa.', *The Japan Institute of Energy*. Available at: http://www.jie.or.jp/biomass/AsiaBiomassHandbook/Indonesian/All_I.pdf.

RANCANG BANGUN PEMBUAT BENANG PLA

Djoko Setyanto¹, Marten Darmawan¹, Charvin Chandra¹
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya Jalan Jenderal Sudirman 51, Jakarta
Telp. (021) 5708826, HP 081286277319
E-mail: djoko.setyanto@atmajaya.ac.id

ABSTRAK

Benang PLA pada umumnya digunakan untuk membuat prototipe suatu bentuk geometri tertentu dengan 3D printer. Benang PLA ini harganya relatif mahal terlebih jika dibandingkan harga biji/ butiran PLA. Problema ini akan diatasi dengan cara membuat rancangan dan purwarupa mesin pembuat benang PLA. Rancangan diawali dengan penyusunan spesifikasi rancangan mesin yang diharuskan mampu membuat benang PLA dengan diameter 1,75 mm dari bahan baku butiran PLA. Mesin yang dihasilkan terdiri dari satu corong vertikal penampung butiran yang memberi umpan ruangan silindris horisontal yang dilengkapi pemanas hingga 180 °C dan pendorong ulir ekstrusi. Lelehan PLA dari nosel silindris horisontal ini selanjutnya didorong melalui nosel berdiameter 1,75 mm yang jatuh secara vertikal yang langsung didinginkan dengan pendingin air sehingga terbentuklah benang PLA. Selanjutnya benang PLA ini digulung oleh alat penggulung. Mesin yang dihasilkan memiliki kapasitas produksi benang PLA 0,5 kilogram per jam.

Kata Kunci: PLA, benang, ekstrusi

1. PENDAHULUAN

1.1 Benang Poly Lactic Acid (PLA)

Benang *poly lactic acid* atau PLA biasanya digunakan untuk bahan pembuat model atau prototipe suatu bentuk geometri tertentu dengan 3D printer seperti ditunjukkan Gambar 1. Benang PLA tersedia di pasaran dalam bentuk gulungan dengan diameter 1,75 mm dan 3 mm dalam aneka warna seperti warna netral, hitam, merah, kuning, abu-abu, putih, hijau, dan biru seperti ditunjukkan Gambar 2. Biji/ butiran PLA ditunjukkan Gambar 3.



Gambar 1. Mesin 3D Printer (Anonim (a), 2018)



Gambar 2. Benang-benang PLA (Anonim (b), 2018)



Gambar 3. Biji/ butiran PLA (Anonim (c), 2018)

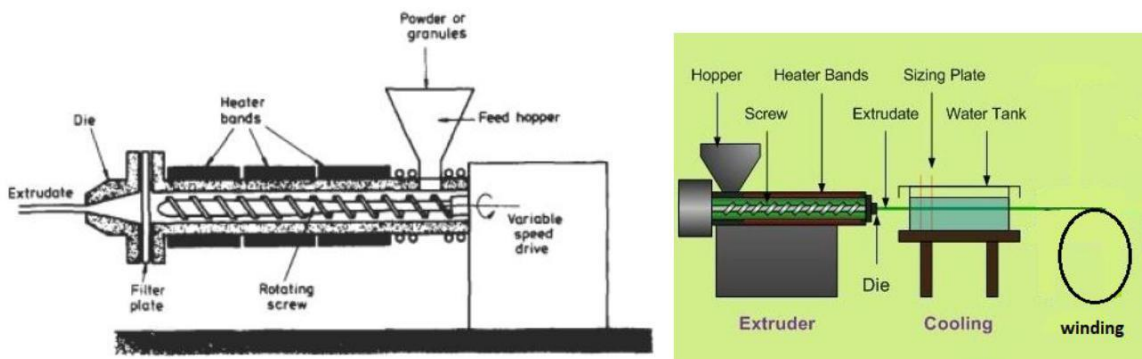
Benang PLA dijual di pasaran dalam bentuk gulungan atau rol. Di pasaran retail *online*, satu gulung benang PLA massa 1 kg dibanderol dengan harga Rp. 573.000,-. Harga tersebut bagi komunitas peneliti dosen dan mahasiswa termasuk mahal sehingga menjadi masalah tersendiri. Sementara itu harga biji/ butiran plastik PLA hanya berkisar Rp. 84.500 per kilogram (Anonim (d), 2017).

Permasalahan tersebut akan diatasi dengan cara membuat rancangan dan purwarupa mesin pembuat benang PLA berdiameter 1,75 mm dari bahan baku biji/ butiran PLA.

1.2 Tinjauan Pustaka

PLA adalah singkatan dari *polylactic acid* atau *polylactide* dengan rumus kimia $(C_3H_4O_2)_n$ yakni jenis poliester alifatik termoplastik yang *biodegradable* dan *bioactive*. PLA terbuat dari sumber terbarukan seperti tepung jagung dan singkong serta dari tebu. PLA memiliki massa jenis 1,21 – 1,43 g/ cc dan suhu meleleh 150-160 °C serta bersifat tak larut dalam air (Garlotta, 2001; Pyda et al, 2004). Panas spesifik (Cp) pada suhu 160 °C adalah 2020 J/ kg °C (Cargill Dow LLC, 2007).

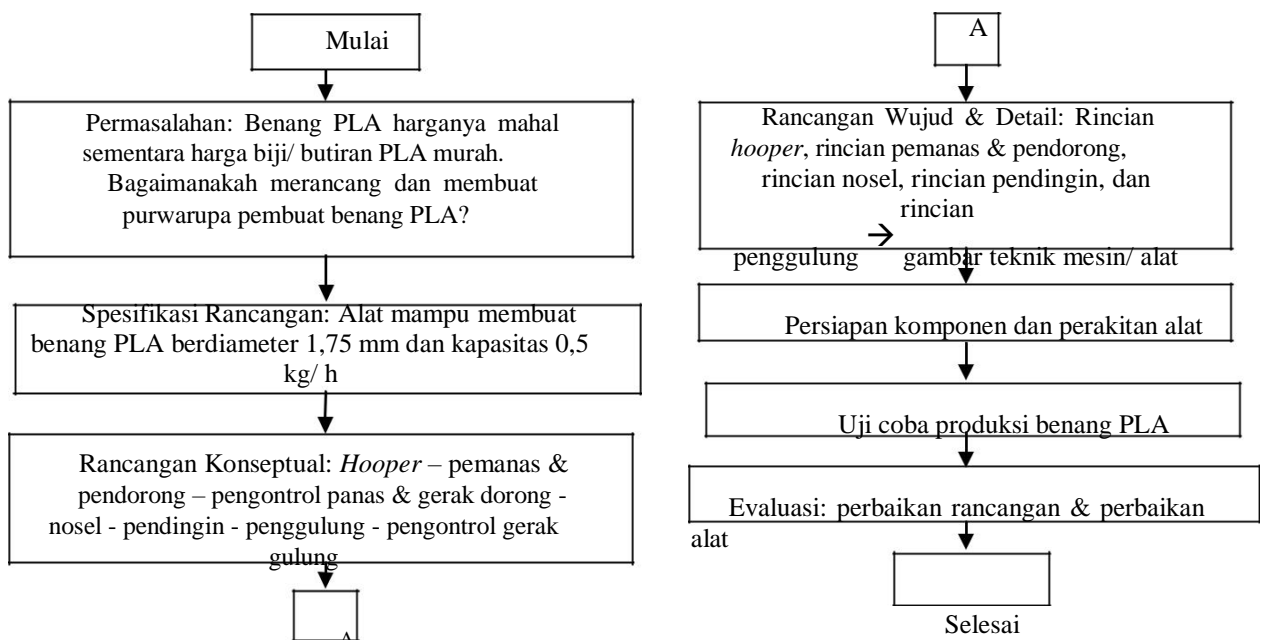
Termoplastik terdiri dari rantai linear yang pada suhu ruang berupa padatan dan akan meleleh/ mencair jika dipanaskan (Giffrey, 2014). Proses pembuatan benang plastik termoplastik secara umum adalah menggunakan proses ekstrusi seperti yang ditunjukkan Gambar 4 (Lipponen, 2015). Peralatan utama mesin terdiri dari corong pengumpan (*hooper*), penggerak ulir ekstrusi, ulir ekstrusi (*rotating screw*), pemanas (*heater*), dan nosel (*extrude*), pendingin benang termoplastik, dan penggulung benang (*winding*) (Anonim (e), 2018).



Gambar 4. Proses ekstrusi termoplastik (Lipponen, 2015; (Anonim (e), 2018)

1.3 Metode Perancangan dan Pembuatan Purwarupa Pembuat Benang PLA

Urutan proses perancangan dan pembuatan purwarupa Pembuat Benang PLA ditunjukkan oleh diagram alir Gambar 5.



Gambar 5. Alur proses perancangan dan pembuatan purwarupa Alat Pembuat Benang PLA

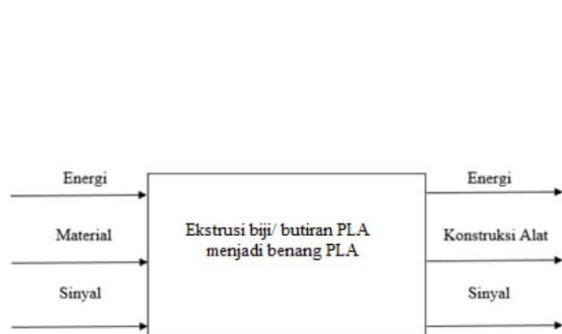
2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mesin atau alat pembuat benang PLA ini didesain memiliki spesifikasi rancangan yang merupakan kebutuhan utama para peneliti dosen dan mahasiswa sebagai berikut,

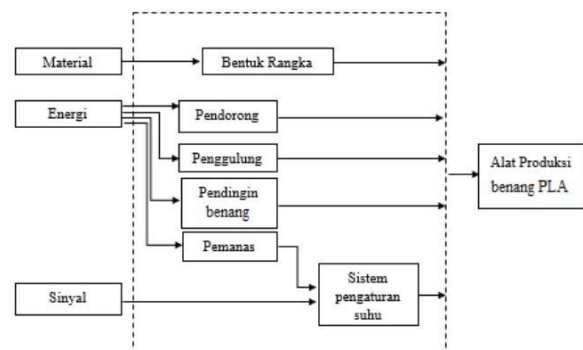
- Bahan baku PLA berupa biji/ butiran-butiran PLA murni.
- Mampu membuat benang PLA berdiameter 1,75 mm.

2.1 Rancangan Konseptual Alat Pembuat Benang PLA

Rancangan konseptual disusun dari pemenuhan fungsi keseluruhan alat yang dimaksud, yakni suatu alat yang mampu mengubah biji-biji/ butiran-butiran PLA murni menjadi benang PLA. Struktur fungsi keseluruhan ini ditunjukkan Gambar 6. Struktur fungsi keseluruhan lalu dibagi menjadi beberapa sub fungsi seperti ditunjukkan Gambar 7.



Gambar 6. Struktur fungsi keseluruhan



Gambar 7. Struktur sub-sub fungsi

Berdasarkan sub-sub fungsi tersebut selanjutnya akan disusun alternatif-alternatif solusinya. Gabungan dari sub-sub fungsi akan membentuk berbagai varian solusi seperti yang diperlihatkan Tabel 1.

Tabel 1. Sub fungsi dan alternatif solusi

No.	Sub fungsi	Alternatif solusi		
		Solusi ke 1	Solusi ke 2	Solusi ke 3
1	Bentuk rangka	Rangka batang + dinding pelat rata	Pelat rata dirangkai menjadi kotak	Pelat rata dirol menjadi silinder
2	Pengumpan dan pendorong bahan baku	Corong kerucut + silindris horisontal yang dilengkapi ulir ekstrusi dan nosel	Corong kerucut + silindris horisontal yang dilengkapi piston hidrolik dan nosel	-
3	Panas	<i>Band heater</i>	<i>Coil heater</i>	-
4	Sistem pengaturan panas	Sensor suhu + <i>on-off system</i>	Sensor suhu + <i>PID system</i>	-
5	Pendingin benang	Celup air	Semprot air	-
6	Penggulung benang	Motor servo	Motor stepper	Motor DC

Tabel 1 akan menghasilkan banyak sekali varian solusi yang merupakan gabungan dari keenam sub fungsi tersebut. Solusi-solusi tersebut antara lain:

- 1.1 – 2.1 – 3.1 – 4.1 – 5.1 – 6.1
- 1.2 – 2.1 – 3.1 – 4.1 – 5.1 – 6.1
- 1.3 – 2.1 – 3.1 – 4.1 – 5.1 – 6.1
- 1.1 – 2.1 – 3.1 – 4.1 – 5.1 – 6.1
- 1.1 – 2.1 – 3.1 – 4.1 – 5.1 – 6.2
- 1.1 – 2.1 – 3.1 – 4.1 – 5.1 – 6.3
- Dan seterusnya kombinasi baris dan kolom dari semua sub fungsi dan solusi lainnya

Dari banyak varian solusi yang dihasilkan tersebut perlu ditentukan manakah varian yang dianggap terbaik sehingga diprioritaskan sebagai pilihan utama untuk diteruskan menjadi rancangan wujud/ bentuk. Caranya adalah dengan mempertimbangkan pilihan setiap solusi berdasarkan kriteria teknik dan kriteria ekonomi.

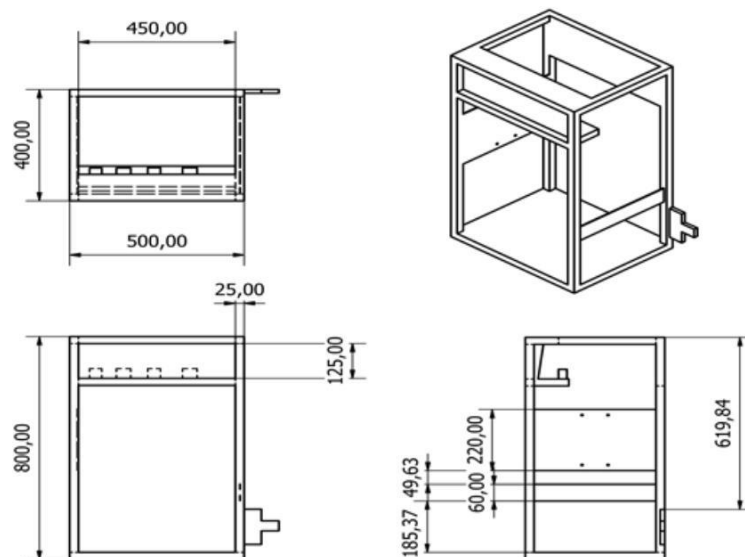
Kriteria teknik terdiri dari aspek sifat fisik-mekanik material, mudah-sulitnya proses pembuatan, dan durabilitas. Kriteria ekonomi menyangkut aspek nilai investasi awal, biaya operasional, dan biaya pemeliharaan.

Varian solusi 1.1 – 2.1 – 3.1 – 4.1 – 5.1 – 6.3 adalah solusi yang diprioritaskan untuk dipilih didasarkan atas pertimbangan teknik dan ekonomi tersebut. Bentuk rangka batang yang dipadu dengan dinding pelat rata dari material baja karbon lebih dipilih ketimbang dua solusi lainnya yakni pelat rata yang dirangkai menjadi kotak atau pelat rata yang dirol menjadi silinder. Dari aspek kekuatan dan kekakuan struktur serta kemudahan pembuatan, pilihan tersebut lebih unggul, sementara dari pertimbangan harga investasi dan biaya pembuatan relatif tidak berbeda. Pengumpan dan pendorong bahan baku dipilih corong kerucut + silindris horisontal yang dilengkapi ulir ekstrusi tunggal dan nosel. Penggunaan ulir ekstrusi lebih efisien dan lebih andal serta durabilitasnya lebih baik daripada pendorong hidrolik. Pemanas silindris listrik (*band heater*) lebih dipilih ketimbang *coil heater* karena pemanas ini lebih kompatibel terhadap pendorong ulir ekstrusi dengan pemanasan yang merata. Sistem pengaturan panas dipilih sensor suhu + *on-off system* karena harga investasinya relatif murah, efektif, dan andal. Pendinginan lelehan benang digunakan celupan air bukan semprot air karena konstruksinya yang sederhana sehingga pembuatannya mudah. Penggulung benang PLA dingin digunakan penggerak motor DC karena pengaturan putarannya mudah, cocok untuk putaran rendah, dan harganya murah.

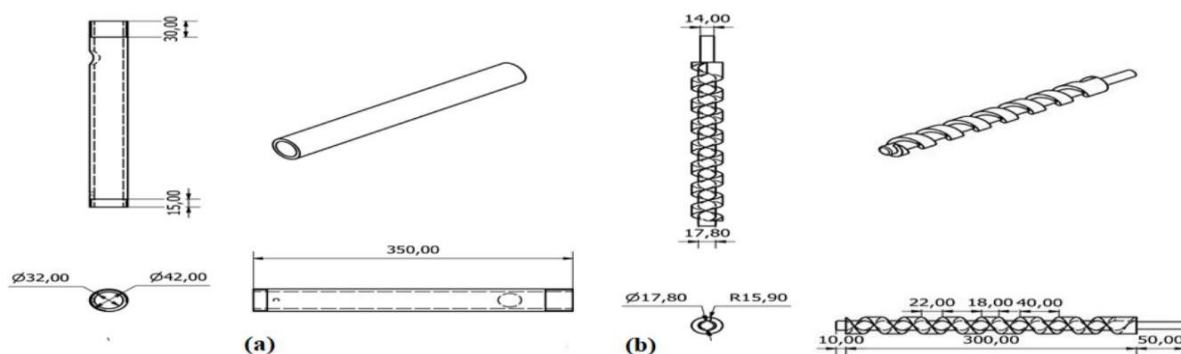
Dari uraian tersebut di atas, maka rancangan konseptual yang dihasilkan untuk dilanjutkan menjadi rancangan bentuk adalah solusi varian 1.1 – 2.1 – 3.1 – 4.1 – 5.1 – 6.3, yakni suatu bentuk rangka dan kotak pelat rata dari baja karbon sebagai tempat konstruksi berpijaknya sistem pengumpan corong kerucut, silindris pemanas *band heater* yang dilengkapi dengan pendorong ulir ekstrusi tunggal dan nosel pembuat benang, pengaturan pemanasan dengan sensor suhu + *on-off system*, pendinginan benang panas cara celup air, dan penggulungan benang PLA dengan motor DC.

2.2 Rancangan Bentuk dan Detail Alat Pembuat Benang PLA

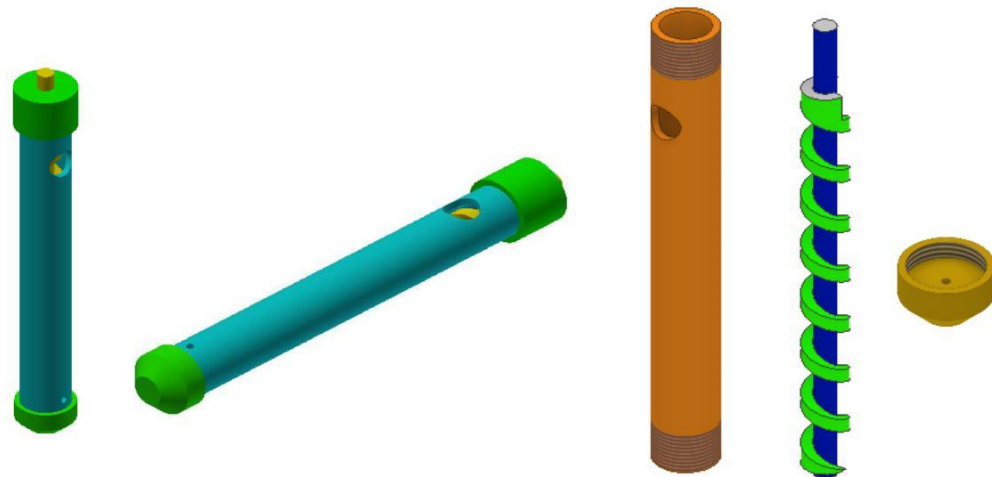
Bentuk fisik rancangan yang dihasilkan dari rancangan konseptual tersebut diperlihatkan Gambar 8 – 11.



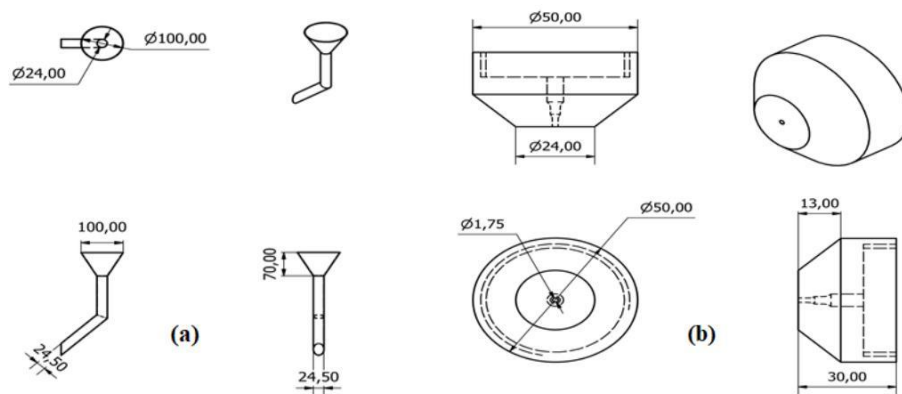
Gambar 8. Konstruksi rangka Alat Pembuat Benang PLA (satuan dalam mm)



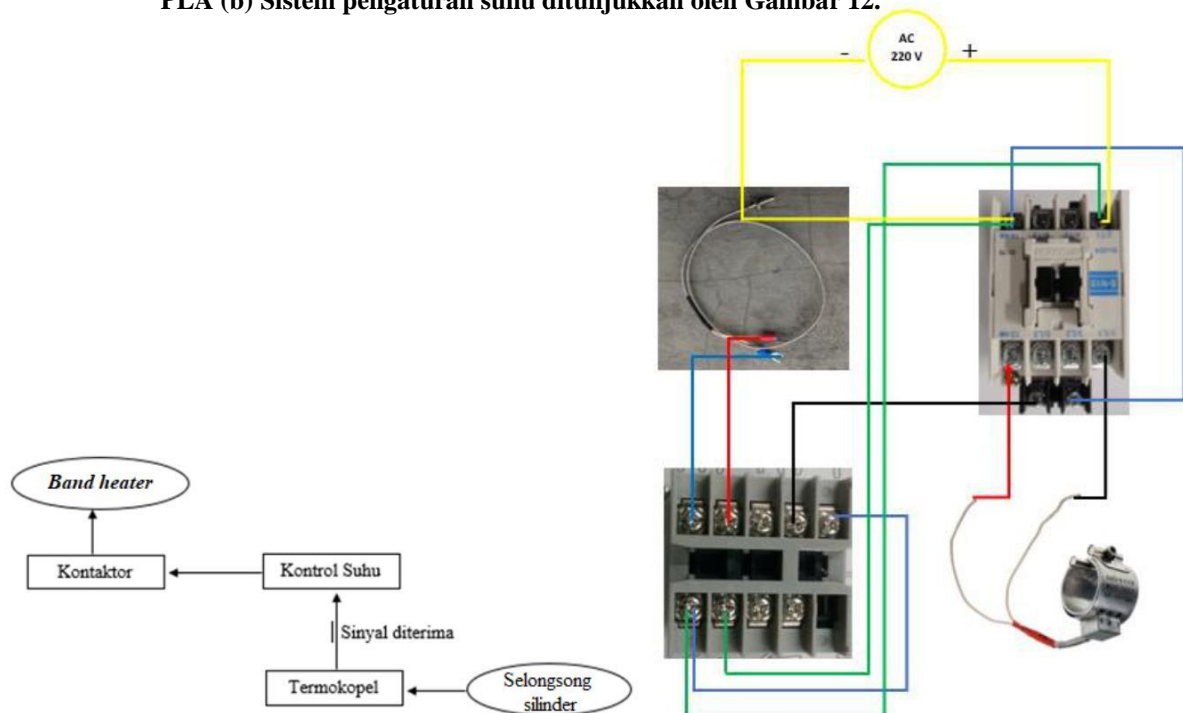
Gambar 9. Selongsong silinder horisontal (a) dan ulir ekstrusi (b)



Gambar 10. Silinder ekstrusi dan nosel



Gambar 11. Corong umpan bahan baku biji PLA (a) dan nosel benang panas PLA (b) Sistem pengaturan suhu ditunjukkan oleh Gambar 12.



Gambar 12. Sistem pengaturan suhu

Pemanas *band heater* mampu menghadirkan suhu pada dinding silinder horizontal hingga 180 °C. Suhu pada dinding silinder tersebut akan mampu melelehkan biji/ butiran PLA murni agar suhunya 150-160 °C. Jumlah panas yang diperlukan untuk melelehkan 0,5 kg/ h atau 0,14x10⁻³ kg/ s biji PLA dari suhu ruang 30 °C adalah,

$$Q = m c_p \Delta T = (0,14 \times 10^{-3} \text{ kg/ s}) \times (2020 \text{ J/ kg } ^\circ\text{C}) \times (160 - 30 \text{ } ^\circ\text{C}) = 37 \text{ J/ s} = 37 \text{ watt.}$$

Pemanas *band heater* yang tersedia di pasaran adalah 300 watt dapat digunakan dengan cara pengaturan suhu lelehan PLA pada kisaran 150-160 °C menggunakan sistem seperti yang diperlihatkan Gambar 12.

Motor DC penggerak ulir ekstrusi akan dipilih yang memberikan torsi dan putaran sedemikian rupa agar memberikan aliran laminar lelehan PLA yang melewati nosel berdiameter 1,75 mm dengan debit 0,5 kg/ h, yakni torsi 25 kg cm dengan putaran 20-50 rpm. Mengingat bahwa perhitungan teoritik penentuan debit aliran fluida PLA yang bertalian dengan penentuan daya dan putaran motor tidak mudah, maka peran uji coba eksperimental berapa rpm putaran motor DC penggerak ulir ekstrusi sangat berperan.

Konstruksi kotak alat yang dihasilkan seperti Gambar 8 menanggung beban peralatan relatif ringan sehingga gaya, tegangan dan defleksi yang terjadi relatif tidak perlu dihitung secara detail. Dapat dikatakan bahwa konstruksi kotak alat aman dalam menerima semua beban yang ada.

2.3 Perakitan dan Uji Coba Produksi Alat Pembuat Benang PLA

Berdasarkan gambar teknik hasil rancangan tersebut, maka setiap komponen perlu dipersiapkan dan untuk selanjutnya dirakit menjadi satu unit alat pembuat benang PLA. Gambar 13 – 15 memperlihatkan komponen-komponen yang dirakit dan hasil akhir rakitan berupa alat pembuat benang PLA.



Gambar 13. Ulir ekstrusi



Gambar 14. Silinder pemanas



Gambar 15. Corong



Gambar 15. Alat pembuat benang PLA

Uji coba produksi benang PLA telah dilakukan. Biji/ butiran PLA murni dimasukkan melalui corong umpan lalu mengalir menuju silinder horisontal. Biji/ butiran PLA dipanaskan oleh pemanas *band heater* sehingga meleleh. Motor DC memutar ulir ekstrusi sehingga lelehan/ fluida PLA terdorong maju melalui nosel yang selanjutnya karena gravitasi mengalir menjadi benang panas yang akan didinginkan oleh air pendingin. Selanjutnya benang dingin PLA dengan diameter 1,75 mm ini digulung oleh alat penggulung seperti ditunjukkan Gambar 15.

Hasil benang PLA tersebut memiliki diameter rata-rata 1,75 mm yang relatif sama dengan ukuran benang PLA buatan pabrikan. Kapasitas pembuatan benang yang dihasilkan adalah 0,5 kg/ h. Harga benang PLA pabrikan di pasar *online* relatif mahal, yakni Rp. 573.000,-/ kg. Benang PLA yang dihasilkan alat yang dirancang tersebut jauh lebih murah. Komponen biayanya selain harga bahan baku biji/ butiran plastik PLA adalah biaya operasional harga listrik. Daya yang dibutuhkan untuk pemanas dan penggerak motor menurut hasil rancangan tidak lebih dari 500 W. Harga listrik dengan daya 900 VA sudah termasuk biaya administrasi dan biaya penerangan jalan umum per kWh saat ini diasumsikan per 50 kWh adalah lima puluh ribu rupiah atau 1 kWh adalah seribu rupiah. Mengingat kapasitas alat pembuat benang yang 0,5 kg/ h atau 1 kg/ 2 h, maka biaya listrik yang diperlukan untuk membuat 1 kg benang PLA adalah 500 W x 2 h yakni 1000 Wh atau 1 kWh yang setara dengan seribu rupiah. Karena harga bahan baku biji/ butiran PLA per kg adalah Rp. 84.500,- dan ditambah biaya operasional listrik per kg benang PLA atau per dua jam adalah Rp. 1.000,-, maka harga total benang PLA hasil produksi alat yang dirancang adalah Rp. 85.500,- per kg yang jauh lebih murah daripada harga benang PLA pabrikan Rp. 573.000,- per kg.

3. SIMPULAN

Berhasil dirancang dan dibuat satu unit purwarupa alat pembuat benang PLA dari bahan baku biji/ butiran PLA murni dengan diameter benang yang dihasilkan 1,75 mm dan kapasitas 0,5 kg/ h. Sistem alat terdiri dari corong umpan bahan baku berbentuk kerucut, silinder horisontal yang dilengkapi dengan pendorong ulir ekstrusi dan nosel pembuat benang dan pemanas *band heater*, pendingin sistem celup air dan penggulung benang PLA dingin menggunakan motor DC.

PUSTAKA

- Anonim (a), 2018. (<https://www.google.co.id/search?q=3d+printer>, diakses 10 Mei 2018)
- Anonim (b), 2018.
(www.google.co.id/search?biw=1280&bih=796&tbm=isch&sa=1&ei=nsjzWtn8OMzqvgSwu7mwCw&q=pla+filament+3d+printer&oq=PLA, diakses 10 Mei 2018)
- Anonim (c), 2018.
(<https://www.google.co.id/search?biw=1280&bih=796&tbm=isch&sa=1&ei=jj32Wsr1L8L58QXV-qjoBQ&q=butiran+plastik+PLA&oq=butiran+plastik+PLA>, diakses 10 Mei 2018)
- Anonim (d), 2017. (<http://imagertransforms.com/shop/makerbot-neon-green-pla-filament>, diakses 15 Mei 2017)
- Anonim (e), 2018. (<https://www.google.co.id/search?q=filament+production+line>, diakses 10 Mei 2018)
- Cargill Dow LLC, 2007. Moldflow Material Testing Report MAT2238 NatureWorks PLA, (https://www.natureworkslc.com/~media/Technical_Resources/Properties_Documents/Property_sDocum ent_7000DMoldFlowReport_pdf.pdf, diakses 13 Mei 2018)
- Garlotta, D., 2001. A Literature Review of Poly(Lactic Acid). *Journal of Polymers and the Environment*, April 2001, Vol. 9 (2): 63-84.
- Griffey, J., 2014. Types of Plastics (Chapter 3). *Library Technology Reports*, 50(5), pp.13–15.
- Lipponen, M., 2015. Designing extrusion die for 3D filament manufacturing, Thesis, Arcada, (<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/96364/slutarbete%20matti%20lipponen%20final.pdf;sequence=1>, diakses 10 Mei 2018)
- Pyda, M, Bopp, R.C., dan Wunderlich, B., 2004. Heat capacity of poly(lactic acid), *The Journal of Chemical Thermodynamics* 36(9):731-742.

KARAKTERISTIK TEKANAN PADA BADAN RAMPUMP DENGAN VARIASI SAMBUNGAN-T

Juanda Saroha Sihotang, Dwiseno Wihadi*

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma

Jalan Affandi, Mrican, Catur Tunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta

Telp. (0274) 515352

E-mail (*): wihadi@usd.ac.id

ABSTRAK

Rampump merupakan pompa air yang memanfaatkan perbedaan tekanan. Beberapa keunggulan rampump yaitu konstruksi yang sederhana dan tidak membutuhkan energi listrik. Energi kinetik dan energi potensial aliran air pada pipa masukan faktor utama dalam pemompaan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi tekanan pada rampump dengan sambungan-T yang berbeda. Eksperimen dilakukan dengan variasi ketinggian air masukan dan tiga tipe sambungan-T. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sambungan U pada rampump tipe 1 menghasilkan karakteristik tekanan yang lebih baik dari pada yang lain.

Kata Kunci: rampump, sambungan-T, tekanan.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

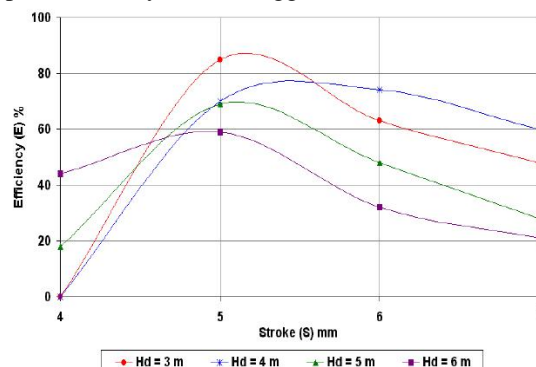
Hidraulik *rampump* (pompa hidram) adalah suatu alat pompa untuk mengangkat atau mengalirkan air dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi. Rampump bekerja dengan energi kinetik dan potensial air yang mengalir dari ketinggian tertentu. Dengan demikian rampump dapat memompa air tanpa memerlukan energi listrik (Jeffrey, 2005).

Efisiensi atau unjuk kerja rampump dapat diperoleh dari debit air yang keluar dari sistem. Pada siklus kerja rampump, sebagian besar air yang jatuh akan mengalir keluar melalui katup buang, sedangkan sebagian yang lain akan mengalir melalui katup hantar dan dipompakan ke tujuan. Kecepatan aliran melalui katup buang menggambarkan nilai energi yang akan diproduksi ketika katup tersebut tertutup secara tiba-tiba (Matthias, 2015). Pada bagian ini merupakan energi pemompaan (Pin). Aliran melalui katup hantar akan menghasilkan debit pemompaan di ujung pipa keluaran (Pout). Tampak bahwa aliran pada katup buang dan katup hantar akan menentukan nilai unjuk kerja rampump.

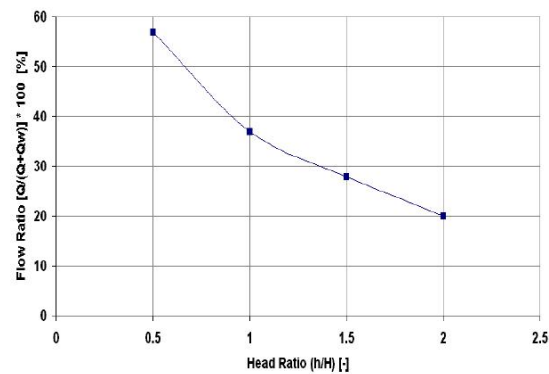
Pada prinsipnya tekanan palu air akan menekan ke segala arah dengan magnitudo yang sama nilainya. Pada kenyataannya ada perbedaan tekanan statik antara sisi keluaran dan sisi masukan akibat tinggi permukaan air keluaran yang pasti lebih besar. Bentuk sambungan-T pada badan pompa akan mempengaruhi pola kecepatan dan tekanan dalam badan pompa (Stefan, 2018)

1.2 Tinjauan Pustaka

Dalam karya ilmiah berjudul *Hydraulic Ram Pump*, Teferi Taye mempergunakan pompa hidram yang terbuat dari pipa dan berbagai sambungan yang dijual di pasaran. Bentuk dan ukuran yang dipergunakan mempergunakan acuan yang ditulis Watt dalam karyanya yang diberi judul *A Manual on the Hydraulic Ram for Pumping Water*. Variabel yang dibedakan dalam penelitian ini adalah langkah katup buang (S), dan *total delivery head* (Hd). Berikut hasil penelitian Taye untuk tinggi air masukan 2 m.



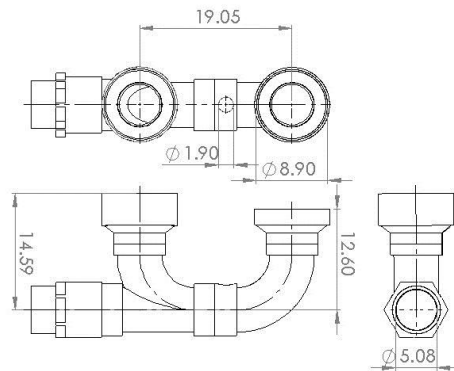
Gambar 1. Grafik pengaruh panjang langkah terhadap efisiensi (Taye, 1998)



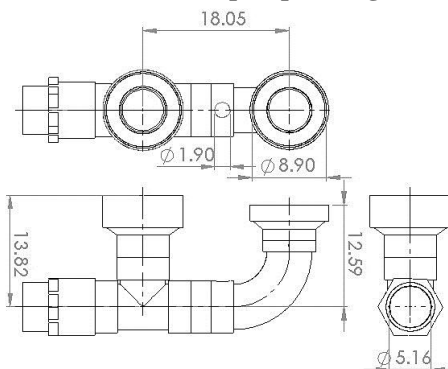
Gambar 2. Grafik hubungan rasio ketinggian dan rasio aliran (Taye, 1998)

1.3 Metodologi Penelitian

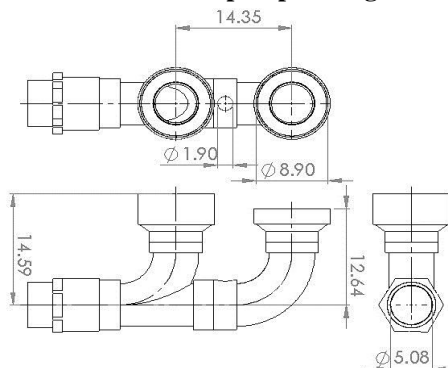
Badan rampump yang dipergunakan terbuat dari bahan pvc dengan geometri sebagai berikut.



Gambar 3. Badan rampump-1 dengan sambungan tipe U

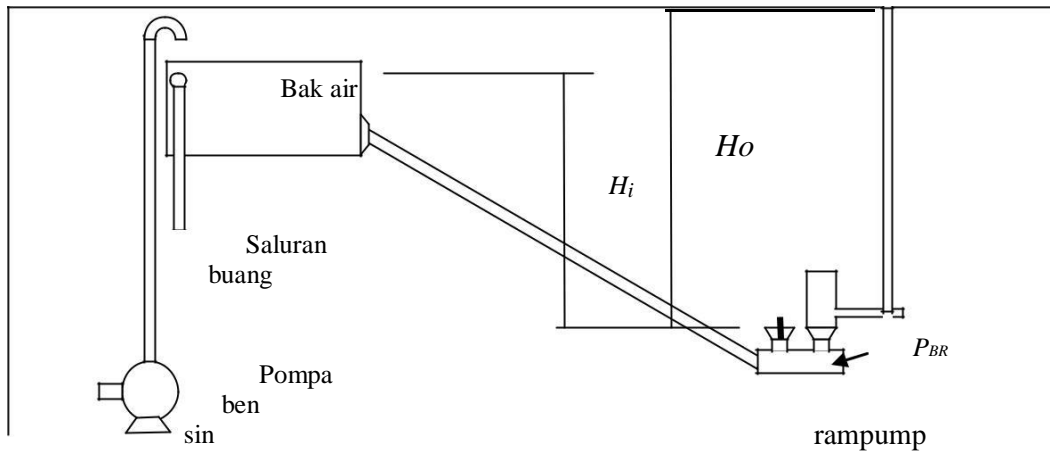


Gambar 4. Badan rampump-2 dengan sambungan tipe T.



Gambar 5. Badan rampump-3 dengan sambungan tipe Y.

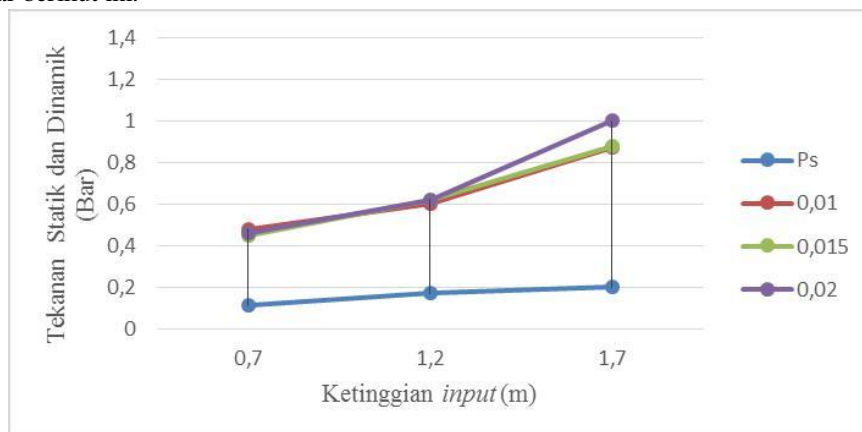
Dalam eksperimen ini rampump disusun bersama peralatan pendukung seperti gambar 6 berikut ini.



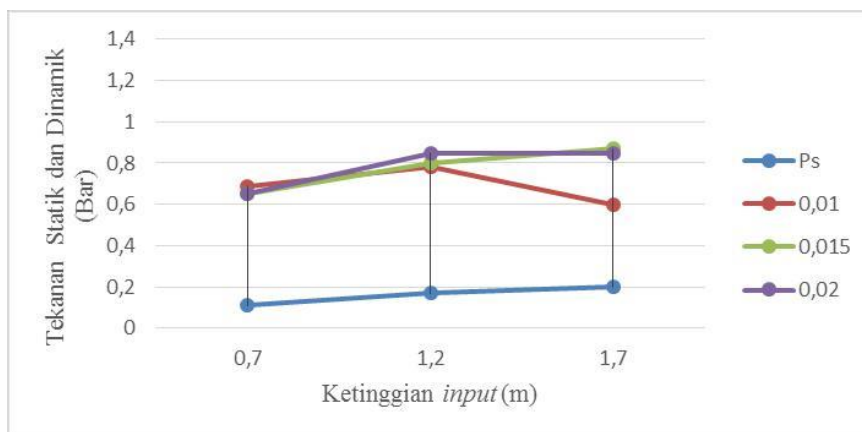
Gambar 6. Skema rangkaian peralatan penelitian

2. PEMBAHASAN

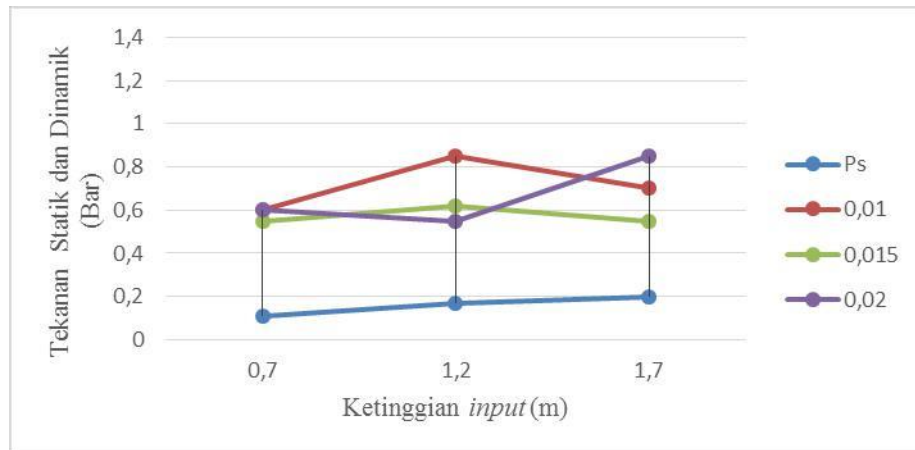
Berdasarkan hasil eksperimen, data tekanan statik dan dinamik pada setiap tipe badan rampump ditampilkan pada gambar-gambar berikut ini.



Gambar 7. Grafik tekanan statik dan dinamik rampump 1 dengan H_o 2,3 m.

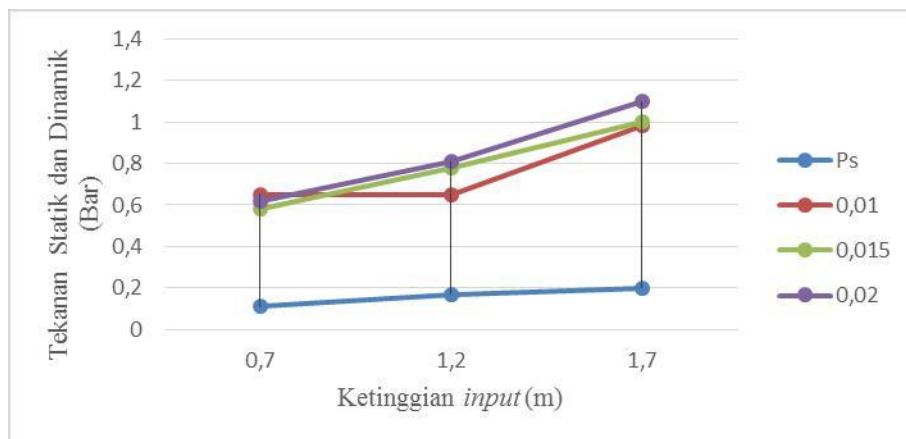


Gambar 8. Grafik tekanan statik dan dinamik rampump 2 dengan H_o 2,3 m.

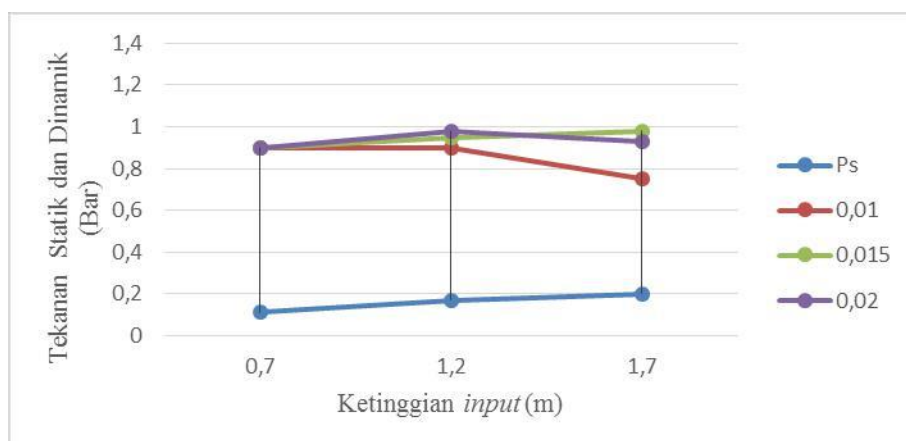


Gambar 9 Grafik tekanan statik dan dinamik rampump 3 dengan Ho 2,3 m.

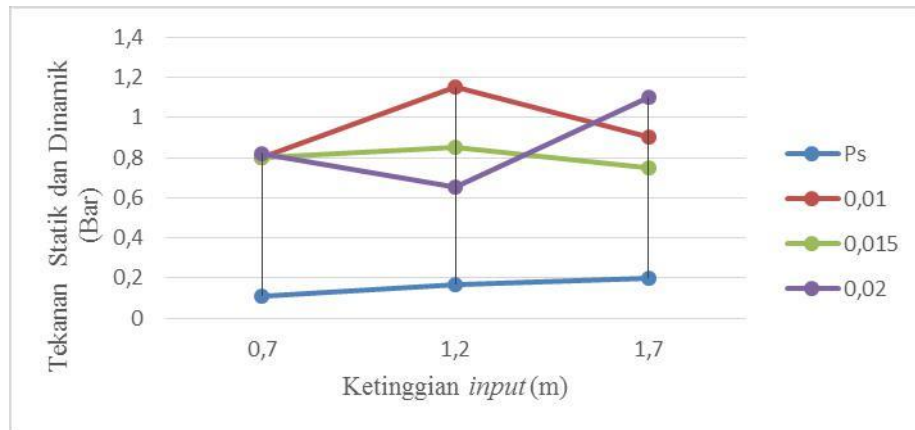
Pada grafik dalam gambar 7 memperlihatkan tekanan dalam badan rampump 1 yang semakin meningkat baik akibat variasi langkah katup limbah maupun perbedaan ketinggian air masukan. Grafik pada gambar 8 menunjukkan peningkatan tekanan pada rampump 2 terjadi hingga ketinggian air masukan 1,2 m, selebihnya relatif tidak terjadi peningkatan tekanan. Dalam gambar 9 memperlihatkan perubahan tekanan positip pada rampump 3 hingga ketinggian air masukan 1,2 m, kemudian menurun pada ketinggian selanjutnya, kecuali pada langkah katup 0,02 m



Gambar 10. Grafik tekanan statik dan dinamik rampump 1 dengan Ho 3,3 m.

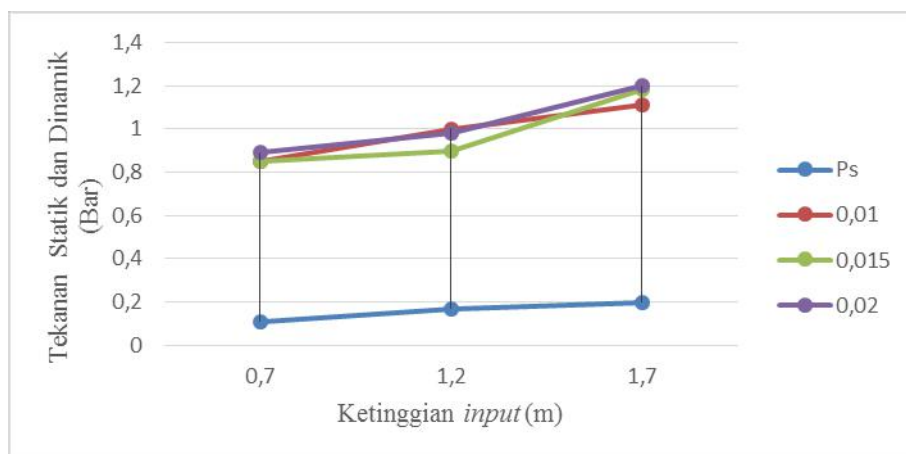


Gambar 11. Grafik tekanan statik dan dinamik rampump 2 dengan Ho 3,3 m.

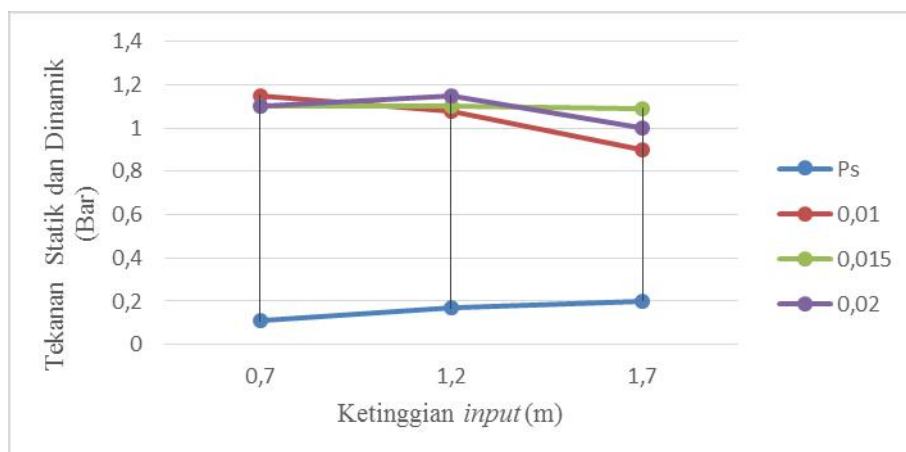


Gambar 12. Grafik tekanan statik dan dinamik rampump 3 dengan H_o 3,3 m.

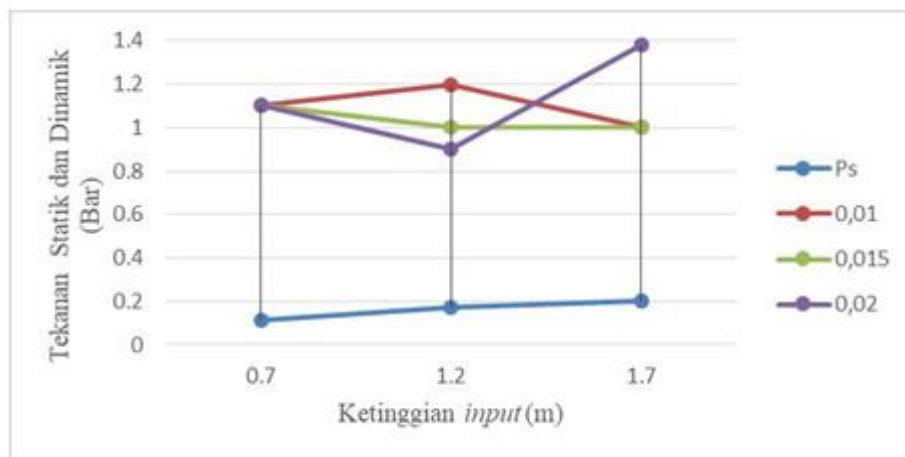
Mirip dengan gambar 7, pada gambar 10 memperlihatkan tekanan dalam badan rampump 1 yang mengalami peningkatan baik akibat variasi langkah katup limbah maupun perbedaan ketinggian air masukan. Pada gambar 11 menunjukkan peningkatan tekanan pada rampump 2 yang lebih tipis dibandingkan grafik gambar 8, hingga ketinggian air masukan 1,2 m. Kenaikan ketinggian air masukan selanjutnya tidak menimbulkan peningkatan tekanan. Grafik pada gambar 9 dan 12 memperlihatkan kecenderungan perubahan tekanan pada rampump 3 yang mirip.



Gambar 13. Grafik tekanan statik dan dinamik rampump 1 dengan H_o 4,3 m.



Gambar 14. Grafik tekanan statik dan dinamik rampump 2 dengan H_o 4,3 m.



Gambar 15. Grafik tekanan statik dan dinamik rampump 3 dengan H_o 4,3 m.

Gambar 13 memperlihatkan rampump 1 tetap mengalami kenaikan tekanan pada variasi ketinggian air masukan dan langkah katup, pada ketinggian air keluaran 4,3 m. Sedangkan pada gambar 14 memperlihatkan tekanan pada rampump 2 yang terus mengalami penurunan pada setiap variasi ketinggian air masukan. Grafik pada gambar 15 memperlihatkan kecenderungan penurunan kenaikan tekanan pada rampump 3 pada variasi ketinggian air masukan.

Pada gambar 7-15 tampak bahwa seiring naiknya tekanan statik pada badan pompa, grafik tekanan dinamik rampump 1 memiliki kecenderungan yang semakin naik. Sebaliknya yang terjadi pada grafik tekanan dinamik rampump 2 dan 3, performa tekanan yang dihasilkan justru semakin menurun.

Kecenderungan tekanan yang terus turun pada rampump 2 dan rampump 3 disebabkan oleh adanya fenomena pusaran (wake) yang terjadi pada badan pompa. Pusaran mengindikasikan terjadinya aliran turbulen pada titik tersebut. Pada rampump 2 pusaran muncul di depan dan di belakang sambungan, sedangkan pada rampump 3 pusaran muncul di depan sambungan sehingga mengarahkan tekanan pada bagian pipa masukan (Stefan, 2018).

4. KESIMPULAN

Gambar grafik tekanan statik dan dinamik ketiga rampump menunjukkan bahwa bentuk sambungan-T pada badan pompa berpengaruh terhadap tekanan pemompaan. Seiring perubahan tinggi air masukan Rampump 1 dengan bentuk sambungan U menghasilkan karakteristik tekanan pemompaan yang lebih baik dibandingkan rampump 2 maupun rampump 3.

PUSTAKA

- Jeffery T.D., Thomas T.H., Smith A.V. 2005. A guide to ram pump water supply systems. Warwick University.
- Matthias Inthachot, Suchard Saehaeng. 2015. Hydraulic ram pumps for irrigation in northern Thailand. Agriculture and Agriculture Science Procedia. Vol. 5:1-2.
- Stefan Mardikus, Dwiseno Wihadi. Investigation of Flow Characteristic on Ram Pump in Different of Pipe Junction Geometry. Makalah disajikan dalam i-TREC 2018, UI, Bali, 6-8 September.
- Taye T. 1998. Hydraulic Ram Pump. *Journal of the ESME*, II (1).

INVESTIGASI STRUKTUR MIKRO DARI BAJA YANG DISAMBUNGKAN SECARA DIFUSI ISOSTATIS

Widodo Widjaja Basuki

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Jakarta

BSD City, Jl. Cisauk, Sampora, Cisauk, Tangerang, Banten 15345

Telp. (021) 5708826

E-mail: widodo.basuki@atmajaya.ac.id

ABSTRAK

Penyambungan material struktural pada industri perkapalan dan instalasi lepas pantai sangat membutuhkan metode yang menjamin tidak terjadinya degradasi yang berlebihan didaerah penyambungan terutama jika material yang digunakan memiliki fungsi yang khusus. Metode penyambungan difusi isostatis pada fasa padat yang ramah material digunakan untuk menyambung baja struktural berfasa ferrit/martensit pada temperatur 1010 dan 1050 °C dengan tegangan tekan sebesar 15 dan 25 MPa selama total waktu proses penyambungan 185 menit. Hasil investigasi struktur mikro dari material yang dietsa menunjukkan tidak adanya perubahan fasa yang signifikan sebelum dan sesudah penyambungan. Analisa Auger Electron Spectroscopy mengidentifikasi tidak adanya kontaminasi elemen-elemen asing serta lapisan oksida. Proses homogenisasi sifat viskoplastis pada temperatur 1050 °C selama 2 jam menyebabkan pembesaran butiran struktur mikro yang relatif rendah dari 11 µm menjadi 17 µm. Pada penelitian ini penyambungan pada tiga strip, dua diantaranya mencapai luas permukaan penyambungan sebesar 82 hingga 95 %.

Kata Kunci: *diffusion bonding*, pengelasan fasa padat, baja, perkapalan, lepas pantai

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Material yang digunakan dalam disain struktural harus merupakan material pilihan yang disesuaikan dengan fungsi dan lingkungan disekitarnya. Dalam bidang perkapalan dan struktural lepas pantai, material yang akan digunakan harus tahan terhadap berbagai jenis pembebanan mekanik, pembebanan termal dan juga korosi. Komposisi elemen dan struktur mikro yang tepat seperti besar butiran, fasa-fasa solid yang terbentuk merupakan parameter yang sangat penting dan merupakan dasar untuk mendapatkan sifat-sifat material yang unggul seperti kekuatan, ketangguhan dan umur kelelahan yang tinggi, resistensi terhadap temperatur yang tinggi dan juga korosi lingkungan.

Tidak kalah pentingnya dengan pemilihan material adalah metode penyambungan material-material tersebut. Ketidak tepatan dalam penggunaan proses penyambungan dan parameter pemrosesannya akan menyebabkan perubahan komposisi dan struktur mikro material yang signifikan terutama di lokasi penyambungan tersebut. Terutama dalam metode penyambungan dalam fase cair, daerah dimana kedua material akan disambungkan dipanaskan hingga mencapai titik lebur. Dalam fasa cair terlokalisasi kedua material akan menyatu dan kemudian didinginkan sehingga terbentuk fasa padat. Karena temperatur pemrosesan yang sangat tinggi diatas titik rekristalisasi maka akan terbentuk struktur mikroyang sangat kompleks dan sangat berbeda dari material asal mulanya terutama di daerah lebur dan daerah yang terpengaruh oleh panas (*Heat Affected Zone*) tersebut. Material degradasi yang terjadi dapat berupa tumbuhnya butiran material dengan ukuran yang beberapa kali lebih besar dari material dasar yang tentunya menyebabkan turunnya kekuatan dan duktilitas, presipitasi elemen-elemen paduan ke batas butiran material sehingga membentuk lapisan karbida yang sangat getas dan menurunkan ketangguhan material tersebut. Logam yang memiliki elemen kromium dalam paduannya sebagai elemen yang melawan *intergranular* korosi akan kehilangan resistensinya disebabkan karena pembentukan kromium karbida. Proses korosi ini akan dipercepat dengan bertambah besarnya butiran dalam material yang menyebabkan rasio antarbatas butiran dengan volume yang mengecil. Disamping itu, perbedaan temperatur yang sangat besar antara daerah peleburan dan daerah material asal pada proses penyambungan akan menyebabkan perbedaan struktur mikro yang sangat signifikan antara daerah peleburan, daerah yang terpengaruh panas dan daerah material asal, akan menyebabkan tegangan sisa dalam material yang sangat besar mengakibatkan turunnya stabilitas kekuatan material di daerah tersebut.

Oleh karena terdapatnya masalah yang sangat signifikan pada penyambungan material dengan metode lebur, maka dibidang perkapalan dan struktural lepas pantai terutama untuk komponen komponen yang sangat terbebaskan baik secara mekanis, termis maupun korosif, maka metode penyambungan dalam fasa padat (*solid state*) menawarkan solusi yang lebih baik. Metode fasa padat memungkinkan penyambungan tanpa meleburkan material dilokasi yang akan disambungkan. Temperatur proses yang diterapkan relatif rendah dan dapat diatur sedemikian rupa sehingga degradasi material dapat ditekan serendah mungkin. Hal ini memungkinkan

keunggulan sifat-sifat material yang dipilih dapat dimanfaatkan sepenuhnya bahkan yang di daerah penyambungan

Berdasarkan prosesnya, penyambungan dalam fasa padat dapat dibagi menjadi beberapa kategori, diantaranya adalah penyambungan dengan ledakan (*explosion welding*) (Carpenter, 1975), difusi (*diffusion bonding*) (Sittel, 2013), gesekan (*friction welding*) (Vairis, 1998) dan dengan gesekan adukan (*friction stir welding*) (Rhodes, 1997). Penyambungan dengan ledakan memanfaatkan energi ledakan dari mesiu yang ditaburkan di atas kedua material yang akan disambungkan. Energi ledakan menyebabkan tumbukan antar permukaan material yang kuat dan panas yang dihasilkan dari tumbukan akan menurunkan kekuatan material di permukaan tersebut sehingga memudahkan permukaan material terdeformasi oleh gaya tumbukan yang kemudian menghasilkan penyambungan yang kuat antar permukaan yang tersambung. Penyambungan dengan difusi memanfaatkan energi panas dan tekanan yang diberikan kepada kedua material yang akan disambung. Energi panas yang digunakan untuk menurunkan kekuatan luluh material (*yield strength*) sehingga deformasi plastis pada permukaan yang akan disambung dapat dilakukan dengan hanya menggunakan tegangan yang relatif kecil. Energi panas tersebut juga diperlukan untuk mengaktifkan mekanisme luluh dan kegiatan difusi dalam material sehingga sambungan yang monolitik dapat terjadi. Berdasarkan tekanan yang diberikan penyambungan dengan difusi dapat dibagi menjadi penyambungan dengan difusi uniaksial (*uniaxial diffusion bonding*) dan penyambungan dengan difusi isostatik (*hot isostatic pressing*). Perbedaan kedua metode penyambungan dengan difusi tersebut terletak kepada tegangan tekan yang diberikan untuk mendeformasi permukaan material. Pada penyambungan dengan difusi uniaksial, arah tegangan tekan yang diberikan adalah normal terhadap permukaan yang akan disambung, sedangkan pada penyambungan dengan difusi isostatik arah tegangan tekan yang diberikan adalah normal terhadap semua arah permukaan benda yang akan disambungkan. Oleh sebab itu untuk penyambungan dengan difusi isostatik, bagian-bagian yang akan disambung harus dibungkus terlebih dahulu sebelum proses penyambungan dilakukan. Penyambungan dengan gesekan memanfaatkan gesekan untuk menghasilkan panas lokal di permukaan material yang akan disambung sehingga kekuatan material di daerah tersebut menurun dan memudahkan tegangan geser untuk mendeformasi permukaan sehingga sambungan dapat terjadi. Pada penyambungan secara gesekan adukan, panas yang dihasilkan melalui gesekan antara pundak pengaduk dengan material akan menurunkan kekuatan material, sehingga memudahkan alat pengaduk untuk bergerak sepanjang garis penyambungan sejalan dengan proses pengadukan (*intermix*) secara mekanis yang kemudian menghasilkan sambungan antara kedua material tersebut melalui tekanan mekanik.

Dikarenakan proses penyambungan dilakukan dengan tidak mencairkan material yang akan disambungkan, maka metode penyambungan fasa padat ini sangat efektif bukan hanya untuk menyambungkan material-material sejenis tetapi juga material-material yang memiliki titik lebur yang sangat berbeda (Basuki and Dahm, 2014) (Basuki and Norajitra, 2014). Dalam makalah ini akan dibahas tentang penyambungan baja yang sejenis dengan difusi isostatik.

1.2. Material

Penyambungan dilakukan terhadap material sejenis yang termasuk dalam golongan baja ferrit/martensit dengan komposisi elemen-elemen paduan 8,89 wt% Cr, 1,059 wt% W, 0,2 wt% V, 0,14 wt% Ta dan 0,0096 wt% C dan sisanya adalah Fe. Titik lebur berada pada temperatur 1450 °C. Material ini diperoleh setelah dilakukan normalisasi pada temperatur 960 °C dan *tempering* pada 750 °C. Dari sisi struktur mikro, baja ini memiliki butiran yang isotrop dengan diameter rata-rata sekitar 9 – 11 µm.

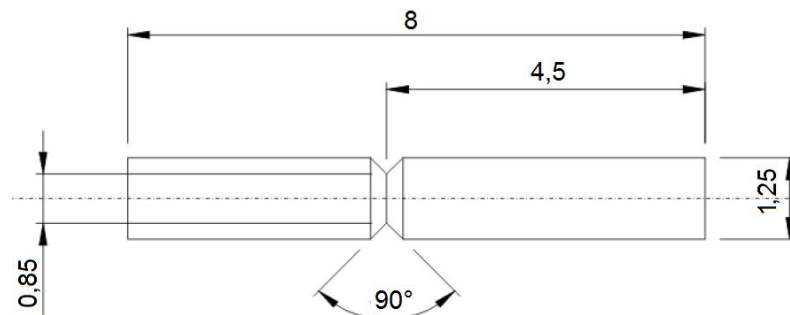
1.3. Metodologi Penelitian

Material yang sejenis tersebut disambung dengan menggunakan metode penyambungan difusi isostatik. Geometri dari material yang akan disambung memiliki dimensi 49 mm x 4 mm x 24,5 mm, dengan permukaan yang akan disambungkan adalah 49 mm x 4 mm. Secara keseluruhan terdapat 3 strip penyambungan yang diproses bersamaan. Sebelum melakukan proses penyambungan, seluruh permukaan material yang akan disambung dibersihkan terlebih dahulu. Tindakan pembersihan ini perlu dilakukan karena semua material teknik pada saat pengadaan selalu terkontaminasi oleh partikel-partikel asing yang membentuk lapisan non logam. Disamping itu baja dan material struktural lainnya memiliki afinitas yang tinggi dengan oksigen sehingga dengan mudahnya dapat membentuk lapisan oksida yang sangat getas di permukaan yang bersingungan dengan udara. Lapisan-lapisan ini sangat merugikan dalam proses penyambungan fasa padat. Pada temperatur pemrosesan yang sangat tinggi (> 1000 °C) lapisan non metal dapat bereaksi dengan elemen-elemen paduan dari material yang akan disambung sehingga membentuk fasa-fasa intermetalik. Sedangkan lapisan oksida adalah lapisan yang sangat stabil pada temperatur yang sangat tinggi, yang mencegah terjadinya difusi dari material yang akan disambung. Kedua jenis lapisan ini dalam proses penyambungan akan menyebabkan antar permukaan penyambungan yang sangat getas yang tentunya akan menyebabkan turunnya ketangguhan material terlokalisasi di daerah penyambungan tersebut. Disebabkan pertimbangan tersebut maka semua permukaan material yang akan disambung melalui proses difusi dibersihkan terlebih dahulu dengan menggunakan semburan pellet CO₂.

Setelah itu material disusun dengan permukaan yang telah dibersihkan saling bersentuhan dan kemudian dibungkus dengan menggunakan lembaran baja. Spesimen ini kemudian dimasukkan ke dalam tungku *hot isostatic pressing* (HIP) dan dipanaskan hingga 1050 °C (sekitar 0,77 dari temperatur leleh (T_m)). Setelah temperatur tersebut tercapai, material akan dibiarkan dalam keadaan tersebut selama 120 menit untuk memastikan sifat viskoplastis yang homogen. Proses penyambungan dilakukan dalam dua sesi. Sesi pertama dilakukan pada temperature 1010 °C dengan tekanan isostatik 25 MPa selama 70 menit, sedangkan sesi kedua pada temperature 1050 °C dengan tekanan isostatik 15 MPa selama 115 menit.

Untuk mengetahui kualitas sambungan secara mikroskopik maka dilakukan investigasi metallografi disekitar daerah penyambungan. Pengambilan spesimen dilakukan dengan memotong material yang telah tersambung dengan luas penampang 1 cm² di tiga daerah dari setiap strip yakni di kedua ujungnya dan di bagian tengah, dengan memastikan daerah penyambungan berada di tengah setiap spesimen tersebut. Permukaan spesimen-spesimen dengan daerah penyambungan tersebut dihaluskan dengan cara menggerinda dengan menggunakan kertas abrasi P-500, P-800, P-1000, P-1200 yang terbuat dari SiC dan kemudian dipolis dengan menggunakan *diamond suspension* hingga menghasilkan permukaan yang seperti cermin (*mirror-like*). Penentuan sifat-sifat struktur mikro material setelah proses penyambungan dilakukan dengan mengetsa spesimen yang telah dipolis. Hasil pengetsaan kemudian diobservasi dengan menggunakan mikroskop optik (Olympus CX23).

Untuk mengetahui kemungkinan terkontaminasinya permukaan material pada saat dilakukan proses penyambungan, maka dilakukan investigasi di permukaan sambungan dengan menggunakan *Auger electronspectroscopy* (AES). Spesimen untuk pengujian tersebut berbentuk silinder, di preparasi dengan geometri dan dimensi seperti yang terlihat pada Gambar 1. Antar permukaan penyambungan terdapat di posisi 4,5 mm dari bagian bawah spesimen dan tepat di posisi tersebut dibuat takik yang memiliki sudut sebesar 90°. Tujuan pembuatan takik tersebut adalah untuk memudahkan terbentuknya tegangan terkonsentrasi di antar permukaan penyambungan tersebut.

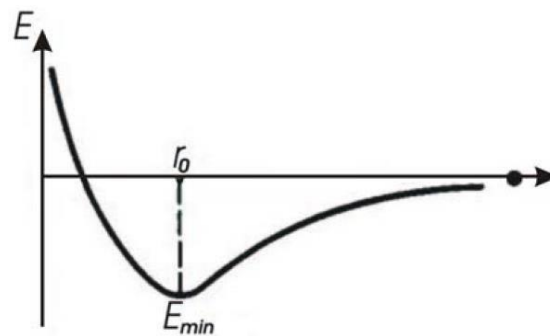


Gambar 1. Spesimen untuk menginvestigasi struktur mikro dengan menggunakan *Auger electronspectroscopy* (AES). Semua satuan dalam mm.

Sebelum di gunakan spesimen tersebut harus dibersihkan terlebih dahulu dalam *acetone* dan menggunakan *ultrasonic bath*. Setelah itu spesimen dipasang di dalam apparatus AES. Kamar spesimen ditutup rapat dan dibuat hampa udara dengan kualitas *ultrahigh vacuum* yakni sebesar 3×10^{-10} Torr (4×10^{-10} mbar). Bertepatan dengan tercapainya nilai vakum tersebut bagian atas spesimen tersebut di pukul dengan menggunakan palu yang ada dalam kamar spesimen. Pukulan palu tersebut menimbulkan konsentrasi tegangan yang sangat besar tepatnya di dasar takik tersebut yang kemudian menyebabkan retakan pada dasar takik dan perambatan retakan yang sangat cepat hingga terjadi patahan pada antar permukaan material yang tersambung. Permukaan patahan tersebut yang kemudian akan di investigasi dengan menggunakan AES.

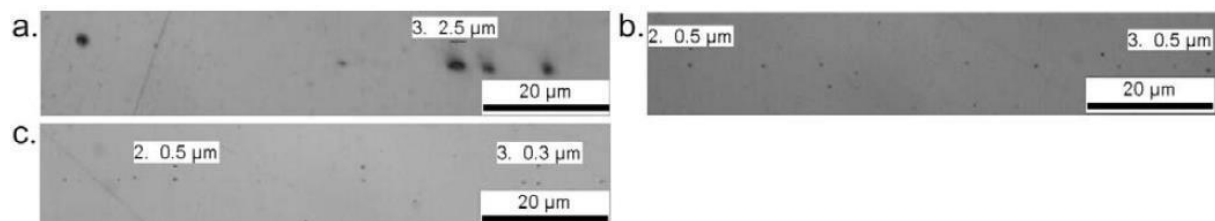
2. PEMBAHASAN

Prinsip dasar penyambungan adalah menurunkan total energi permukaan dari material-material yang akan disambungkan. Hal ini dapat dicapai dengan menurunkan energi potensial dari semua atom yang ada dipermukaan kedua material yang akan disambungkan ke tingkat yang rendah. Gambar 2 menggambarkan potensial energi sebagai fungsi dari jarak atom (r), dimana energi potensial akan mencapai titik minimum E_{min} apabila jarak atom mencapai nilai r_0 . Sebagai contoh adalah Si-Wafer, yang dapat tersambung satu dengan yang lainnya hanya dengan memberikan sedikit tegangan tekan di permukaan kedua material tersebut. Akan tetapi, pada umumnya jarang sekali terdapat material teknik yang seperti Si-wafer, sehingga jika kedua material yang akan disambungkan hanya sedikit diberi tegangan tekan maka hanya sekitar 0,001% dari atom-atom permukaan sambungan yang memiliki energi potensial yang minimal. Rendahnya jumlah atom-atom yang memiliki energi potensial yang minimal menyebabkan ketidakstabilan sambungan tersebut, sehingga apabila ada sedikit input energi mekanik maka bisa menyebabkan terjadinya inkonsistensi sambungan yang berpuncak pada kegagalan pada sambungan tersebut.

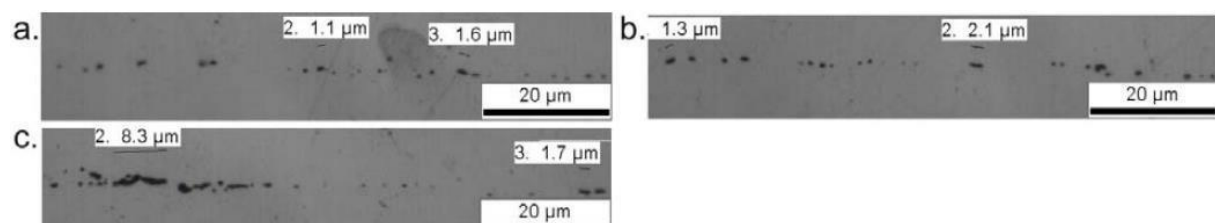


Gambar 2. Potensial energi sebagai fungsi dari jarak atom (Courtney, 1990).

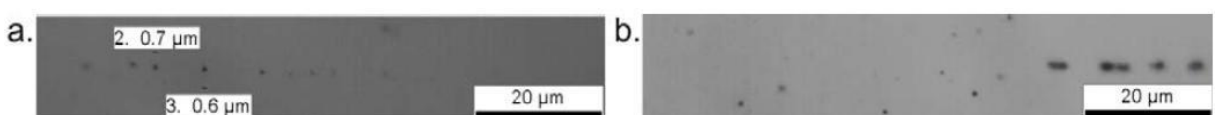
Untuk meningkatkan jumlah atom yang mencapai E_{min} maka diperlukan input energi yang berupa panas dan tegangan tekan mekanik. Kedua jenis energi tersebut sangat menentukan mobilitas elemen-elemen dari material yang akan disambung sehingga terjadinya transport material melalui proses difusi ruang kosong (*vacancy diffusion*) yang melalui batas butiran (*grain boundary*) dan melalui *crystal lattices*, proses penguapan dan kondensasi serta proses mulur secara difusi (*diffusion creep*) yang terdiri dari *Herring-Nabarro creep* dan *Coble creep*. Walaupun energi panas sangat dibutuhkan selama proses penyambungan, akan tetapi energi panas yang berlebihan akan menyebabkan degradasi struktur mikro pada seluruh material sambungan yang berimbas pada turunnya kekuatan, keuletan dan duktilitas material secara keseluruhan. Pada penyambungan difusi isostatis ini proses deformasi spontan yang biasanya terjadi pada penyambungan difusi uniaksial tidak diperhitungkan karena secara praktis tidak berkontribusi dalam transport materi. Dengan meningkatnya jumlah atom yang mencapai E_{min} akan meningkatkan luas permukaan yang bersatu yang berarti mengurangi porositas dan mengecilkan pori-pori yang berada di daerah penyambungan tersebut. Hal ini secara otomatis akan meningkatkan kekuatan mekanik dan keuletan global dari sambungan.



Gambar 3. Daerah penyambungan pada strip ke-1, a.) ujung kiri, b.) bagian tengah dan c.) ujung kanan.



Gambar 4. Daerah penyambungan pada strip ke-2, a.) ujung kiri, b.) bagian tengah dan c.) ujung kanan.



Gambar 5. Daerah penyambungan pada strip ke-3, a.) ujung kiri dan c.) ujung kanan.

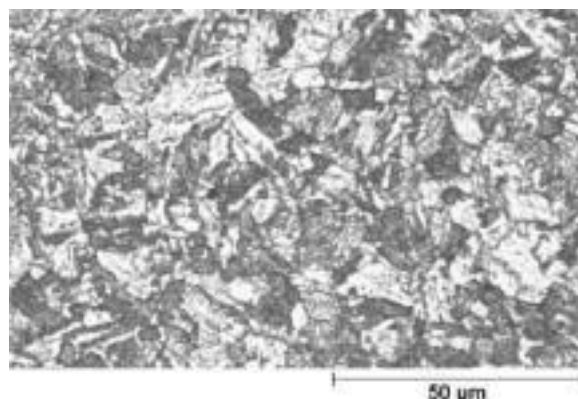
Jika energi potensial semua atom pada permukaan mencapai nilai E_{min} dan tidak terdapat degradasi struktur mikro maka semua sifat-sifat mekanis dari material yang tersambung akan maksimum dan setingkat dengan material basis yang tidak disambung.

Hasil pengamatan dengan mikroskop optik dari ketiga strip yang disambung setelah digerinda dan dipolis diperlihatkan di Gambar 3-5. Pada strip ke-1 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 jumlah pori-pori di daerah sambungan tidak terlihat banyak. Di daerah sambungan ujung kiri yang sepanjang 80 μm (Gambar 3a) terlihat 4 pori-pori yang memiliki diameter sebesar 2,5 μm dan terlihat tersebar tidak merata disepanjang garis sambungan. Di daerah sambungan bagian tengah dan ujung kanan (Gambar 3b dan 3c) yang juga sepanjang 80 μm , terlihat masih adanya pori-pori yang berjumlah masing-masing sekitar 8 dengan diameter antara 0,3 hingga 0,5 μm . Luas permukaan yang tersambungkan dengan baik untuk strip ke 1 berkisar antara 87,5 – 95 %.

Pada strip ke-2 seperti yang ditunjukkan Gambar 4 pori-pori tersebar lebih merata dengan diameter yang bervariasi antara 1,1 μm hingga 2,1 μm dan jumlah antar 18 hingga 20 buah di daerah penyambungan ujung kiri dan bagian tengah. Luas daerah yang permukaan yang tersambungkan adalah sekitar 70 hingga 75 %. Sedangkan di daerah penyambungan ujung kanan terlihat beberapa pori-pori yang panjang berkumpul di sebelah kiri Gambar 4c. Pori yang terpanjang yang ditemukan di daerah ini adalah sekitar 8,3 μm . Walaupun terlihat banyak tetapi bisa dipastikan luas permukaan yang tersambungkan di daerah ujung kanan masih sekitar 50 %.

Gambar 5 menunjukkan daerah penyambungan strip ke-3 hanya di bagian ujung kiri dan kanan (Gambar 5a dan 5b). Daerah penyambungan bagian tengah tidak ditunjukkan karena tidak terdeteksi adanya pori-pori disepanjang penyambungan. Dari Gambar 5 terlihat adanya sekitar 5 pori-pori yang panjangnya sekitar 2,5 μm di daerah ujung kanan. Sisa pori-pori yang terdeteksi memiliki diameter sekitar 0,7 μm . Dengan demikian luas penampang minimal yang tersambungkan adalah sekitar 82 %.

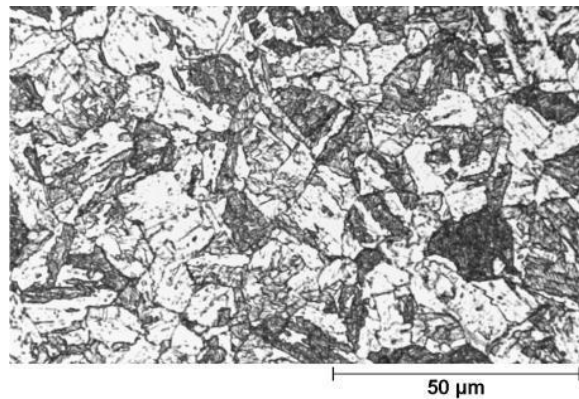
Proses penyambungan difusi yang dilakukan pada temperatur yang relatif tinggi dapat dipandang sebagai suatu proses perlakuan panas, dimana struktur mikro dari material tersebut dapat berubah dari satu fasa ke fasa lainnya. Disamping itu pemrosesan material pada temperatur tinggi dan dalam waktu yang relatif lama dapat menyebabkan terbebaskannya energi deformasi didalam butiran-butiran yang mengakibatkan rekristalisasi dan bahkan pembentukan butiran-butiran yang baru yang mengkonsumsi butiran-butiran lama yang berdampak pada pengasaran butiran. Bersamaan dengan pengasaran butiran-butiran, kerapatan dislokasi dalam struktur mikro tersebut akan menurun yang menjadi penyebab turunnya kekuatan material tersebut. Untuk mengetahui apakah terdapat perubahan struktur mikro yang signifikan setelah proses homogenisasi viskoplastis pada temperatur 1050 °C selama 2 jam dan proses penyambungan pada temperatur 1010 - 1050 °C selama 3 jam dan 5 menit, struktur mikro dari material yang telah mengalami proses penyambungan dibandingkan dengan struktur mikro dari material yang belum disambung (*in as-received condition*). Struktur mikro material sebelum mengalami proses penyambungan ditunjukkan di Gambar 6 dengan butiran-butiran isotrop berdiameter rata-rata 9 – 11 μm dan fasa martensit yang homogen.



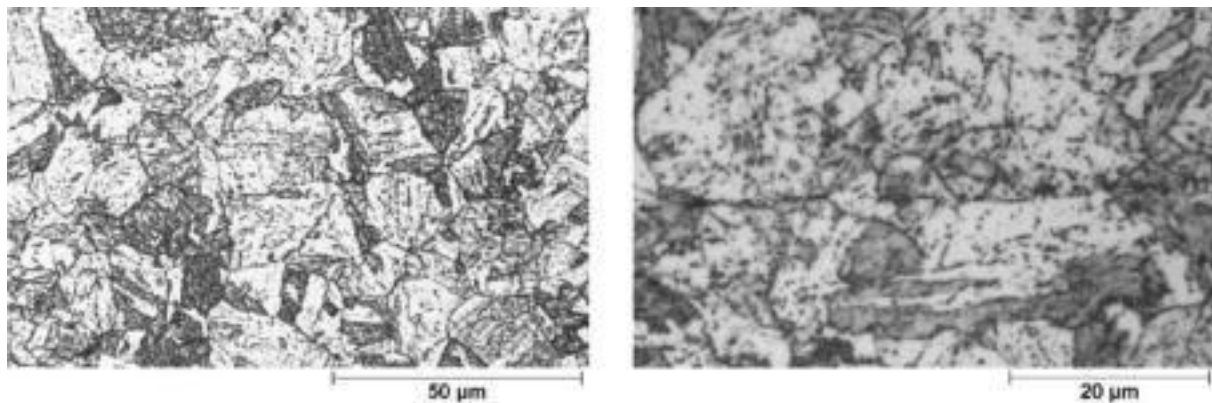
Gambar 6. Struktur mikro dari material sebelum dilakukan proses penyambungan difusi isostatis.

Struktur mikro dari material yang telah mengalami proses penyambungan difusi isostatis terlihat pada Gambar 7 – 9 masing-masing untuk strip ke-1, ke-2 dan ke-3. Fasa martensit terlihat dengan jelas di semua

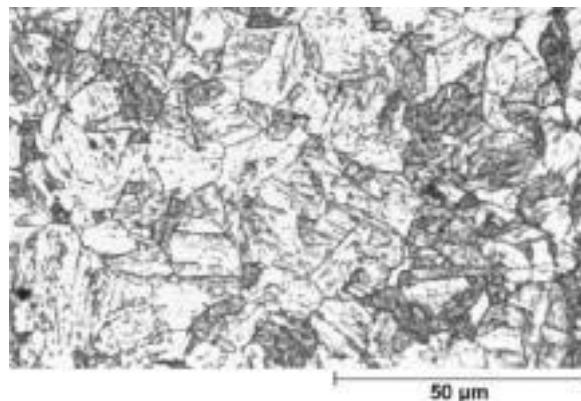
gambar-gambar tersebut dan sebanding dengan fasa martensit pada material sebelum proses penyambungan. Pada strip ke-1 dan ke-3 tidak terdeteksi adanya pori-pori, sedangkan pada strip ke-2 garis penyambungan masih terlihat dengan jelas pada Gambar 8 sebelah kiri. Dengan faktor pembesaran yang lebih tinggi, bahkan pori-pori dapat terlihat dengan sangat jelas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8 sebelah kanan. Ditilik dari aspek bentuk dan ukuran, butiran-butiran struktur mikrosetelah proses penyambungan pada strip ke-1 hingga ke-3 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 – 9 adalah isotrop dengan ukuran diameter rata-rata 17 μm . Adanya kenaikan diameter butiran dari 11 μm menjadi 17 μm atau sekitar 36% menunjukkan pengaruh temperatur pemrosesan yang berkisar antara 1010 – 1050 $^{\circ}\text{C}$ dengan waktu pemrosesan sekitar 5 jam terhadap pelepasan energi deformasi didalam material yang menyebabkan rekristalisasi dan bahkan pengasaran butiran.



Gambar 7. Struktur mikrodari material setelah proses penyambungan. Strip ke-1.

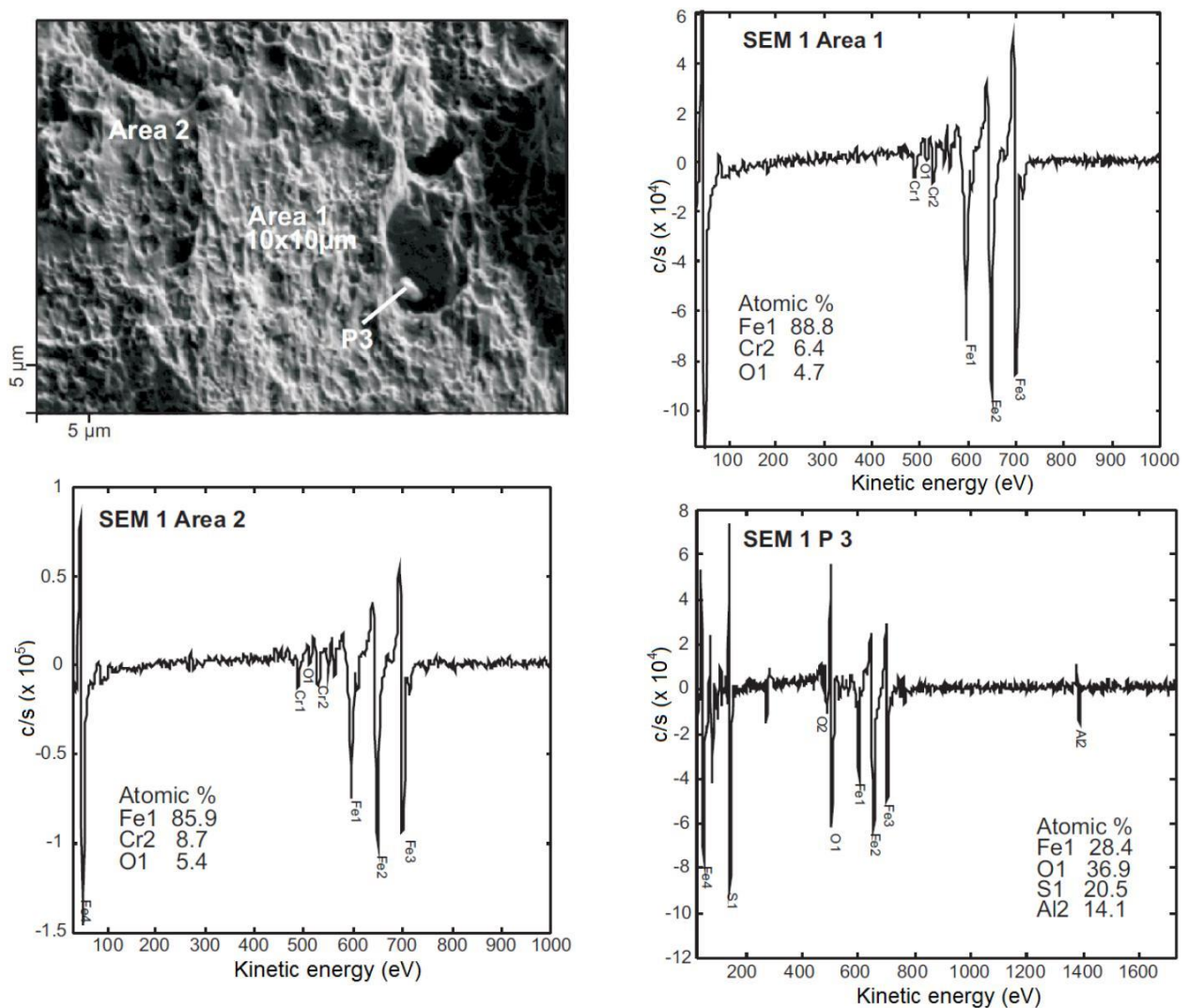


Gambar 8. Struktur mikro dari material setelah proses penyambungan. Strip ke-2.



Gambar 9. Struktur mikro dari material setelah proses penyambungan. Strip ke-3.

Hasil analisa AES terhadap antar permukaan yang telah tersambungkan ditunjukkan pada Gambar 10. Permukaan patahan spesimen (Gambar 10 kiri atas) diambil dengan menggunakan *scanningelectron microscope* (SEM). Analisa spektrum dilakukan 14 menit setelah spesimen patah pada dua area yang masing-masing memiliki luas sebesar $10\ \mu\text{m} \times 10\ \mu\text{m}$ (kanan atas dan kiri bawah) dan pada satu partikel P3 (kanan bawah). Yang diinvestigasi adalah elemen-elemen paduan baja, partikel dan elemen-elemen asing di permukaan patahan tersebut. Hasil pengukuran spektrum pada area 1 dan 2 menunjukkan elemen-elemen yang terdeteksi adalah elemen-elemen paduan yang membentuk baja tersebut yang sebagian besar terdiri dari Fe dan Cr. Selain itu juga terdeteksi adanya signal oksigen yang sangat lemah.

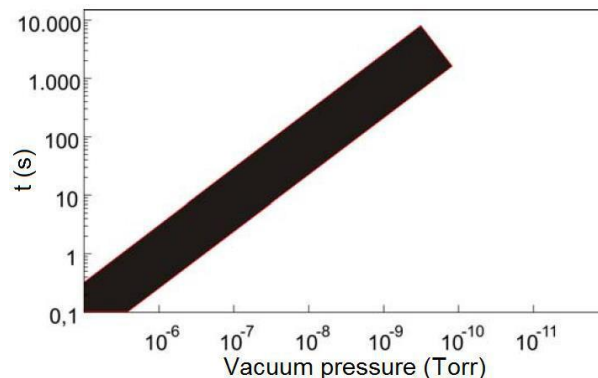


Gambar 10. SEM-micrograph (kiri atas) dari permukaan patahan dengan spektrum AES. Analisa spektrum dilakukan 14 menit setelah patah.

Oksigen tidak merupakan elemen yang berkontribusi dalam pembentukan paduan baja yang digunakan dalam penyambungan difusi ini. Oksigen yang terdeteksi pada permukaan patahan tersebut berasal dari atmosfer di dalam kamar spesimen di apparatus AES. Walaupun pengukuran dilakukan di dalam ruangan yang *ultrahighvacuum* dengan tekanan vakum sebesar 3×10^{-10} Torr, kondensasi oksigen di atas permukaan patahan tetap terjadi meskipun dengan kecepatan kondensasi yang sangat rendah. Waktu karakteristik yang diperlukan di dalam apparatus AES untuk mengkondensasi monolayer oksigen sebagai fungsi dari tekanan vakum ditunjukkan dalam diagram *double logarithmic* yang tertera di Gambar 11. Menurut diagram tersebut dengan tekanan vakum di dalam kamar spesimen sebesar 3×10^{-10} Torr kecepatan kondensasi maksimum yang dibutuhkan oleh monolayer oksigen adalah sekitar $1,667 \times 10^{-3}\ \text{s}^{-1}$.

Dengan waktu penyetelan yang dibutuhkan selama 14 menit sebelum analisa spektrum dilakukan, dapat dipastikan minimal monolayer oksigen telah terkondensasi di permukaan patahan tersebut. Dengan demikian

analisa ini menunjukkan bahwa signal oksigen yang lemah di area 1 dan 2 bukanlah disebabkan kontaminasi permukaan material sebelum material tersebut mengalami proses penyambungan difusi tetapi lebih disebabkan karena kondensasi oksigen di dalam kamar spesimen. Analisa pada partikel P3 menghasilkan diagram spektrum seperti terlihat pada Gambar 10 kanan bawah. Terdeteksi pada partikel tersebut adalah signal yang cukup kuat dari elemen-elemen asing yang berupa sulfur, aluminium dan oksigen. Sulfur dan aluminium terkandung dalam baja dan termasuk dalam *trace elements* paduan baja tersebut. Dari analisa ini dapat dipastikan partikel P3 ini adalah partikel inklusi yang berupa aluminium oksida dengan *ferrous-sulfate*.



Gambar 11. Waktu kondensasi yang diperlukan monolayer oksigen didalam kamar spesimen pada tekanan vakum konstan.

3. KESIMPULAN

Penyambungan baja ferrit/martensit dilakukan dengan metode difusi isostatis yang ramah terhadap material yang akan disambungkan. Setelah proses homogenisasi viskoplastis material pada temperatur 1050 °C selama 2 jam, proses penyambungan dilakukan pada temperatur 1010 dan 1050 °C dengan tekanan masing-masing 25 dan 15 MPa selama total waktu pemrosesan 3 jam dan 5 menit. Sepesimen yang disambung berjumlah 3 strip yang kemudian dilakukan berbagai investigasi struktur mikro. Dari pengamatan spesimen yang dietsa dengan menggunakan mikroskop optik dapat diketahui tidak adanya perubahan yang signifikan pada fasa martensit jika dibandingkan dengan material sebelum proses penyambungan difusi. Besaran butiran struktur mikro mengalami kenaikan yang relatif rendah dari 11 μm menjadi 17 μm yang disebabkan oleh proses homogenisasi viskoplastis yang berlangsung selama 2 jam pada temperatur 1050 °C. Disamping itu investigasi permukaan patahan di antar muka sambungan yang dilakukan di aparatus AES menunjukkan tidak adanya kontaminasi elemen-elemen asing pada permukaan sebelum proses penyambungan. Signal oksigen yang lemah yang diperoleh pada analisa spektrum menunjukkan adanya kondensasi oksigen pada permukaan patahan yang berlangsung selama 14 menit sebelum analisa dilakukan. Analisis AES juga mendeteksi adanya satu partikel inklusi yang merupakan aluminium oksida dengan *ferrous-sulfate*. Aluminium dan sulfur merupakan *trace elements* pada baja. Dari hasil investigasi strip ke-1 dan ke-3 pada antar muka sambungan diketahui bahwa luas permukaan yang tersambung pada bagian tengah berkisar dari 95 hingga 100 % dan pada daerah ujung specimen berkisar antara 82 hingga 87,5 %. Sedangkan untuk strip ke-2, luas permukaan yang tersambung pada bagian tengah adalah sekitar 75 % sedangkan pada daerah ujung berkisar antara 50 hingga 70 %. Dari ketiga strip sambungan diketahui sambungan yang terbaik terjadi di bagian tengah dari setiap strip. Ini menunjukkan bahwa profil permukaan yang akan disambung memainkan peran yang sangat penting. Terlebih pada proses penyambungan difusi isostatis dimana tekanan yang diberikan merata disemua permukaan material, deformasi inelastis yang dialami permukaan yang akan disambung sangat kecil sehingga energi permukaan total dalam sistem sambungan tersebut sulit mencapai nilai yang terendah.

PUSTAKA

- Basuki W.W., Dahm R., Aktaa J. 2014. Thermomechanical Analysis of Diffusion Bonded Tungsten/EUROFER97 with a Vanadium Interlayer. *Journal of Nuclear Materials*, 455 (1-3): 635-639.
- Basuki W.W., Norajitra P., Spatafora L., Aktaa J. 2014. Fabrication of Tungsten-Vanadium Hybrid Material with Sufficient Toughness for High Temperature Applications by Diffusion Bonding. *Fusion Science and Technology*, 66 (2): 315-321.
- Carpenter S.H., Wittman R.H. 1975. Explosion Welding. *Annu. Rev. Mater. Sci.*, (5): 177-199.

- Courtney, T.H. 1990. *Mechanical Behavior of Materials*. Singapore: McGraw-Hill.
- Rhodes C.G., Mahoney M.W., Bingel W.H., Spurling R.A., Bampton C.C. 1997. Effect of Friction Stir Welding on Microstructure of 7075 Aluminium. *Scripta Materialia*, 36 (1): 69-75.
- Sittel W., Basuki W.W., Aktaa J. 2013. Diffusion Bonding of the Oxide Dispersion Strengthened Steel PM2000. *Journal of Nuclear Materials*, 443 (1-3): 78-83.
- Vairis A., Frost M. 1998. High Frequency Linear Friction Welding of a Titanium Alloy. *Wear* 217 (1): 117-131.

RANCANG BANGUN MESIN PENGERING BUAH PINANG TENAGA SURYA HYBRID HEMAT ENERGI

Andrew Joewono^{*1}, Julius Mulyono², Fian Agustino W.³, Laurentius Nico W.⁴, Ahmad Hasan K⁵

¹²³⁴⁵Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

Jl. Kalijudan no.37 Surabaya, 60114,

HP. 0816545335, Telp : 031-3891264, Fax : 031-3891267

email: ^{*1}Andrew_sby@yahoo.com

ABSTRAK

Hasil perkebunan buah pinang banyak terdapat di daerah-daerah yang masih mempunyai lahan yang luas, misalnya di desa curah cottok, kec. kapongan, kab. situbondo. Buah pinang hasil panen setiap harinya kurang lebih 1 ton (basah), proses untuk menjual, harus dalam keadaan kering, sehingga harga jual meningkat, dibandingkan dengan keadaan buah pinang yang masih basah. Di desa tersebut, alamnya tersinari matahari dengan tegas, sehingga tenaga matahari dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk dikonversikan menjadi energi listrik, yang akan digunakan untuk memproses pengeringan dengan mesin pengering, disamping tenaga matahari untuk menjaga kesinambungan alat pengeringan ini dimusim yang sinar matahari kurang, maka dibuat sistem hybrid dengan menggunakan gas LPG yang akan berfungsi untuk pembakaran udara panas yang akan dihembuskan sebagai proses pengeringannya. Dalam membuat sistem pengeringan buah pinang tenaga matahari hybrid hemat energi, dibutuhkan komponen-komponen solar panel, solar charge controller, battery, kipas (blower), pemanas udara (nyala infra merah dari pembakaran gas LPG), sistem kendali elektronika berbasis kombinasi relay, dengan sensor suhu dan kelembapan udara dalam ruang yang dapat di monitor.

Kata kunci : Alat Pengering, Tenaga Matahari Hybrid, Hemat Energi

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan

Pengembangan potensi daerah (desa) dalam peningkatan kesejahteraan masyarakat, sudah dicanangkan dalam pidato presiden RI, untuk mendukung arah pengembangan tersebut, maka perlu dilakukan suatu kerjasama dalam melakukan kegiatan-kegiatan pengembangan tersebut, terutama sektor pertanian dan perkebunan yang masih perlu dikembangkan, misalnya hasil-hasil perkebunan yang memerlukan rekayasa proses untuk meningkatkan harga jual, oleh karena itu suatu peralatan teknologi tepat guna dapat digunakan untuk melakukan proses tersebut, dengan teknologi tepat guna, maka masyarakat pemakai dapat menggunakan peralatan dengan mudah, hemat dan tepat sasaran.

Hasil perkebunan buah pinang banyak terdapat di daerah-daerah yang masih mempunyai lahan yang luas, misalnya di desa curah cottok, kec. kapongan, kab. situbondo. Buah pinang hasil panen setiap harinya kurang lebih 1 ton (basah), proses untuk menjual, harus dalam keadaan kering, harga jualnya bisa tinggi dibandingkan dengan keadaan buah pinang yang masih basah. Disamping itu kalau hasil setelah panen tidak segera dikeringkan, maka dalam waktu 2 hari, maka akan timbul jamur (buah berbulu kecil), yang akan semakin menurunkan harga jual.

Di desa tersebut, tersinari matahari dengan tegas, sehingga tenaga matahari dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk dikonversikan menjadi energi listrik yang akan digunakan untuk menjalankan proses pengeringan dengan mesin pengering ini, disamping tenaga matahari untuk menjaga kesinambungan alat pengeringan ini dimusim yang sinar matahari kurang, maka dibuat sistem hybrid dengan menggunakan gas LPG yang akan berfungsi untuk pembakaran udara panas yang akan dihembuskan sebagai proses pengeringannya.

Untuk dapat melakukan peningkatan kesejahteraan petani buah pinang, dibuat alat untuk mengeringkan keadaan buah pinang tersebut, sehingga tidak mengakibatkan jatuhnya harga jual. Alat yang dibuat merupakan rekayasa proses pengeringan dengan teknologi tepat guna, sehingga penggunaan peralatan tidak rumit (pengetahuan yang tinggi), hemat (bahan bakar gas, bukan listrik sebagai pemanas) dan peralatan digunakan secara otomatis, sehingga tidak perlu ditunggui, dan petani dapat melakukan aktivitas lainnya.

Oleh karena itu peralatan yang dibuat, dapat membantu petani dalam meningkatkan harga jual hasil panen, sehingga terjadi peningkatan kesejahteraan dalam pengembangan potensi daerah, khususnya hasil panen buah pinang. Hasil tambahan yang terjadi, peningkatan pengetahuan teknologi tepat guna untuk rekayasa proses hasil perkebunan yang dapat dilakukan, dan alih teknologi yang dapat disampaikan kepada masyarakat pengguna di desa tersebut, dan mendukung kegiatan Badan Usaha Milik desa (BUMdes), sesuai dengan RPJMdes,

Dengan menggunakan alat pengering buah pinang yang menggunakan tenaga matahari hybrid ini, maka proses pengeringan dapat dilakukan dengan waktu lebih cepat, kualitas yang seragam, dengan kebersihan yang terjaga, dan otomatis (tidak perlu dipantau secara terus menerus, dipantau sesuai dengan tanda selesai proses yang ditimbulkan).

Oleh sebab itu alat ini sangat diperlukan oleh para mitra petani binaan BUMdes desa curah cottok, dalam meningkatkan harga jual hasil panen buah pinang dan untuk menjaga kualitas hasil panen yang baik, maka harus dilakukan dengan bantuan alat pengering ini, sehingga proses pengolahan setelah panen dapat dilakukan secara seragam kualitas yang dihasilkan.

1.2 Tinjauan Pustaka

Tanaman pinang merupakan tanaman buah yang ditanam di perkebunan, dengan lahan dibagian bawahnya, dapat dipergunakan sebagai areal perkebunan sayur dan buah-buahan lainnya. Tanaman pinang akan menghasilkan buah dengan kisaran jangka waktu hingga 10 tahun, sehingga tanaman pinang biasanya merupakan tanaman hasil budidaya dari turun temurun, setelah usia tanaman produktif, maka tanaman ini akan menghasilkan buah pinang yang terus menerus, setiap harinya dapat dilakukan pemanenan hasil dari tanaman buah yang telah matang (ditandai dengan perubahan warna menjadi merah), supaya tanaman pinang ini dapat menghasilkan buah yang terus menerus dengan kualitas baik, maka perlu juga dilakukan pemupukan dengan menggunakan pupuk kandang.

Buah pinang merupakan komoditi hingga dunia, karena banyaknya kebutuhan dunia akan buah pinang yang dapat diolah menjadi obat-obatan. Buah pinang yang baru dipanen masih mengandung kadar air yang banyak (basah), sehingga perlu dilakukan proses pengeringan, setelah proses pengeringan buah pinang akan dengan mudah untuk dikupas kulitnya. Ada banyak perdagangan buah pinang yang dapat dilakukan, di jual dalam wujud berkadar air tinggi (harga rendah), dijual kering (lebih tinggi), dijual kering kupas (lebih tinggi), dan yang tertinggi diual kering kupas terbelah (yang paling tinggi). Harga buah pinang di dunia berkisar Rp. 50.000,- per kilogramnya ; di Indonesia dalam keadaan buah pinang basah berkisar Rp. 4.500,- hingga Rp. 5.000,- per kilogramnya ; dalam keadaan kering berkisar Rp.30.000,- hingga Rp.40.000,-, sehingga proses pengeringan sangat diperlukan untuk meningkatkan kualitas dari hasil panen olahan buah pinang tersebut.

Di desa Curah Cottok, kec. Kapongan, kab. Situbondo, banyak terdapat tanaman pinang tersebut, sehingga banyak kelompok warga yang mempunyai aktivitas melakukan kegiatan pemanfaatan buah pinang menjadi pendapatan dalam kehidupannya. Keadaan yang sekarang dilakukan para petani kelompok warga desa tersebut, biasanya melakukan pengeringan dengan menjemur di sinar matahari, dan membutuhkan waktu hingga 14 hari, namun penjemuran dengan cara ini juga akan sangat beresiko terhadap keadaan cuaca dan kebersihannya, sehingga perlu dilakukan proses pengeringan secara hemat dan mudah dilakukannya.

Proses pengeringan yang hemat dan mudah dilakukan, dapat dibuat dengan menggunakan peralatan tepat guna yang memanfaatkan kelebihan sinar matahari (yang banyak terdapat didesa ini), energi matahari akan dikonversikan menjadi energi listrik dan disimpan didalam battery, energi yang tersimpan didalam battery akan digunakan untuk menjalankan sistem pengeringan secara otomatis. Didalam melakukan proses pengeringan, maka dilakukan upaya pelepasan kandungan air yang ada didalam buah pinang tersebut, dengan meniupkan udara panas yang dihasilkan dari nyala api gas LPG dan ditiupkan angin, hingga masuk keruangan (dibuat khusus) yang digunakan untuk proses pengeringan, dan dilakukan selama waktu yang dikehendaki (waktu akan ditentukan berdasar uji coba). Sehingga alat pengeringan ini akan melakukan prosesnya, dengan menggunakan tenaga hybrid, merupakan tenaga gabungan tenaga matahari dan tenaga gas LPG.

Proses pengeringan pada prinsipnya menyangkut proses pindah panas dan pindah massa yang terjadi secara bersamaan (simultan). Pertama-tama, panas harus ditransfer dari medium pemanas ke bahan. Selanjutnya setelah terjadi penguapan air, uap air yang terbentuk harus dipindahkan melalui struktur bahan ke medium sekitarnya. Proses ini akan menyangkut aliran fluida di mana cairan harus ditransfer melalui struktur bahan selama proses pengeringan berlangsung. Jadi panas harus disediakan untuk menguapkan air dan air harus mendifusi melalui berbagai macam tahanan agar supaya dapat lepas dari bahan dan berbentuk uap air yang bebas. Lama proses pengeringan tergantung pada bahan yang dikeringkan dan cara pemanasan yang digunakan.

Pada dasarnya, metode pengeringan buatan dilakukan melalui pemberian panas yang relatif konstan terhadap bahan pangan atau biji-bijian, sehingga proses pengeringan dapat berlangsung dengan cepat dengan hasil yang maksimal. Dengan pengeringan buatan diharapkan kandungan air mula-mula sekitar 30 % akan turun sedemikian rupa hingga mencapai kadar air 12 – 16 %. Pada kadar air tersebut, telah cukup aman dalam penyimpanan.

Pengeringan buatan atau pengeringan mekanis dapat dilakukan dengan dua metode yaitu :

- a. Pengeringan kontinyu / berkesinambungan (*continuous drying*), dimana pemasukan dan pengeluaran bahan berjalan terus menerus.
- b. Pengeringan tumpukan (*batch drying*), bahan masuk ke alat pengering sampai pengeluaran hasil kering, kemudian baru dimasukkan bahan berikutnya.

Pada metode berkesinambungan, bahan bergerak melalui ruang pengering dan mengalami kontak dengan udara panas secara paralel atau berlawanan. Pada metode tumpukan terdapat tiga jenis yaitu :

1. Pengeringan langsung (*direct drying*), bahan yang dikeringkan langsung berhubungan dengan udara yang dipanaskan.
2. Pengeringan tidak langsung (*indirect drying*), udara panas berhubungan dengan bahan melalui perantara, umumnya berupa dinding-dinding atau tempat meletakkan bahan. Bahan akan kontak dengan panas secara konduksi.
3. Pengeringan beku (*freeze drying*), dalam hal ini bahan ditempatkan pada tempat hampa udara, lalu dialiri udara yang sangat dingin melalui saluran udara sehingga air bahan mengalami sublimasi yang kemudian dipompa ke luar ruang pendingin.

Pengeringan dengan menggunakan alat pengering dengan suhu, kelembaban udara, kecepatan udara dan waktu dapat diatur dan diawasi.

Keuntungan : Tidak tergantung cuaca, Kapasitas pengeringan dapat dipilih sesuai dengan yang diperlukan, Tidak memerlukan tempat yang luas, Kondisi pengeringan dapat dikontrol, Panen dapat dilakukan lebih awal, Masa simpan menjadi lama, Pekerjaan menjadi lebih mudah, Dapat meningkatkan nilai ekonomis bahan.

Disamping itu, keuntungan pengeringan secara mekanis adalah :

1. Memungkinkan pengeringan dilakukan di sembarang waktu tanpa terikat musim tertentu, walaupun hari mendung/hujan, pengeringan masih dapat dilakukan.
2. Luas areal yang dibutuhkan untuk pengeringan dapat dikurangi, misalnya dengan memperbanyak rak-rak pengering.
3. Pengaturan suhu dapat lebih mudah sehingga dapat disesuaikan dengan karakteristik bahan yang dikeringkan Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan untuk memperoleh kecepatan pengeringan maksimum, yaitu :
 1. Luas permukaan
Semakin luas permukaan bahan yang dikeringkan, maka akan semakin cepat bahan menjadi kering. Biasanya bahan yang akan dikeringkan dipotong– potong untuk mempercepat pengeringan.
 2. Suhu
Semakin besar perbedaan suhu (antara medium pemanas dengan bahan yang dikeringkan), maka akan semakin cepat proses pindah panas berlangsung sehingga mengakibatkan proses penguapan semakin cepat pula. Atau semakin tinggi suhu udara pengering, maka akan semakin besar energi panas yang dibawa ke udara yang akan menyebabkan proses pindah panas semakin cepat sehingga pindah massa akan berlangsung juga dengan cepat.
 3. Kecepatan udara
Umumnya udara yang bergerak akan lebih banyak mengambil uap air dari permukaan bahan yang akan dikeringkan. Udara yang bergerak adalah udara yang mempunyai kecepatan gerak yang tinggi yang berguna untuk mengambil uap air dan menghilangkan uap air dari permukaan bahan yang dikeringkan.
 4. Kelembaban udara
Semakin lembab udara di dalam ruang pengering dan sekitarnya, maka akan semakin lama proses pengeringan berlangsung kering, begitu juga sebaliknya. Karena udara kering dapat mengabsorpsi dan menahan uap air. Setiap bahan khususnya bahan pangan mempunyai keseimbangan kelembaban udara masing–masing, yaitu kelembaban pada suhu tertentu dimana bahan tidak akan kehilangan air (pindah) ke atmosfer atau tidak akan mengambil uap air dari atmosfer.
 5. Tekanan atm dan vakum
Pada tekanan udara atmosfer 760 Hg (=1 atm), air akan mendidih pada suhu 100°C. Pada tekanan udara lebih rendah dari 1 atmosfer air akan mendidih pada suhu lebih rendah dari 100°C.
 $P\ 760\ Hg = 1\ atm\ air\ mendidih\ 100^{\circ}C$
 $P\ udara < 1\ atm\ air\ mendidih < 100^{\circ}C$
Tekanan (P) rendah dan suhu (T) rendah cocok untuk bahan yang sensitif terhadap panas , contohnya : pengeringan beku (freeze drying)
 6. Waktu
Semakin lama waktu (batas tertentu) pengeringan, maka semakin cepat proses pengeringan selesai. Dalam pengeringan diterapkan konsep HTST (*High Temperature Short Time*), *Short time* dapat menekan biaya pengeringan.

Selama periode awal pengeringan, laju pengeringan ditinjau dari tiga parameter pengeringan eksternal yaitu kecepatan udara, suhu udara dan kelembaban udara. Jika kondisi lingkungan konstan, maka laju pengeringan akan konstan. Sedangkan laju pengeringan menurun terjadi setelah periode pengeringan konstan selesai. Proses pengeringan dengan laju menurun sangat tergantung pada sifat-sifat alami bahan yang dikeringkan. Laju perpindahan massa selama proses ini dikendalikan oleh perpindahan internal bahan. Periode laju pengeringan menurun meliputi dua proses yaitu perpindahan air dari dalam bahan ke permukaan dan perpindahan uap air dari permukaan ke udara sekitar.

Dalam hal pengeringan, tingkat pengeringan bahan tertentu tergantung pada karakteristik bahan yaitu suhu bahan, kelembaban relatif dan kecepatan udara pengeringan. Laju penguapan air adalah banyaknya air yang diuapkan setiap satuan waktu atau penurunan kadar air bahan dalam satuan waktu. Parameter pengeringan meliputi:

1. Suhu udara pengering, untuk oven buah pinang, yaitu antara 40°C - 55°C.
2. Kecepatan aliran udara pengering, untuk pengeringan bahan pangan udara paksa menggunakan kecepatan antara 0,25 – 2,33 m/s.
3. Kelembaban relatif (RH) udara pengering, uap air tidak langsung keluar dari ruang pengering melainkan menjenuhkan udara di sekitar bahan. Kelembaban berkurang disebabkan oleh perbedaan tekanan uap antara permukaan bahan dan lingkungan.
4. Kadar air, berat bahan kering atau padatan adalah berat bahan setelah mengalami pemanasan beberapa waktu tertentu, sehingga beratnya tetap atau konstan.
5. Moisture Ratio

Pemilihan efisiensi penggunaan peralatan pemanas untuk ruang pengering dengan gas LPG, di ilustrasikan sebagai berikut : (dibandingkan dengan pemakaian listrik PLN)

Gas umumnya dipakai untuk diubah menjadi energi panas, seperti memasak dan memanaskan air. Perhitungan gas adalah gas LPG 3 kg seharga Rp. 18.000. Artinya harga per kg LPG adalah Rp.6.000,-.

1 kg LPG mempunyai energi 50.159,92 kJ.

rata-rata nilai kalori dari gas LPG sebesar = 21.000 BTU/lb.

Dikonversi untuk mendapat per kg (x 2,20462) menjadi sebesar 46.297,02 BTU/kg.

Dikonversi ke kWh (x 0,000293071) menjadi 13,57 kWh/kg

Jadi harga per kWh dari data ini adalah:

$10833 / 13,57 = \text{Rp}798,30 / \text{kWh}$

Jadi Dengan memperhitungkan efisiensi dari peralatan, maka untuk pemakaian yang paling ekonomis dengan data kompor gas yang terbaik.

Pendekatan analisa ekonomi :

	Satuan	Harga	Jumlah
PENGELUARAN			
A. INVESTASI ALAT			
Penyusutan peralatan (5 tahun / 60 bulan)	60 bulan		Rp15,000,000
Bahan Baku			
Panen bahan mentah (basah) / hari	300 Kg		
Panen bahan mentah (basah) / bulan (20 hari kerja)	6000 Kg	Rp8,000	Rp48,000,000
B. OPERASIONAL			
Biaya operator / hari	20 hari	Rp100,000	Rp2,000,000
Biaya gas LPG (3 kg / proses ; 1 hari 6 kali proses ; 1 bulan 20 hari kerja)	120 tabung	Rp18,000	Rp2,160,000
PENDAPATAN			
A. HASIL PENGERINGAN (Jual)			
1 kali proses 50 Kg, 1 hari 6 kali proses ; penyusutan 60%	120 Kg		
Bulan / 20 hari kerja	2400 Kg	Rp30,000	Rp72,000,000
PENDAPATAN NETT			Rp19,590,000

Dalam melakukan proses pengeringan, dengan tenaga matahari hybrid LPG, peralatan yang digunakan, pemantik dan media api gas LPG tekanan tinggi, yang akan dikendalikan oleh sistem pemantik otomatis, kipas yang akan mendorong angin dari luar, masuk ke ruang pemanas melewati media api, dan selanjutnya masuk ke ruang pengeringan bahan. Untuk mengendalikan suhu dan kelembapan, digunakan sensor suhu dan kelembapan yang akan memberikan sinyal elektrik ke sistem pengendali, untuk mengatur suhu dan kipas pembuangan uap air hasil penguapan dari bahan yang dikeringkan.

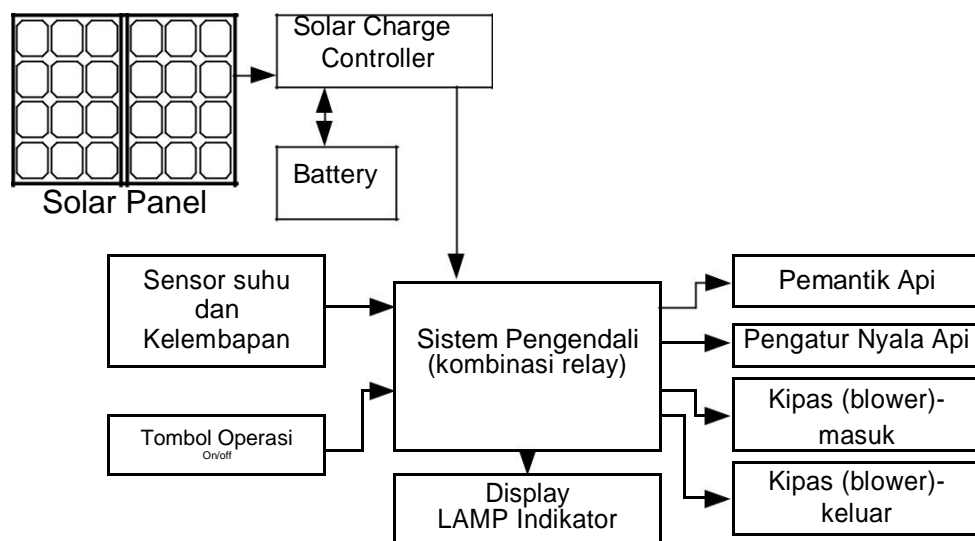
Peralatan yang digunakan, Solar panel sebagai komponen pengkonversi energi matahari menjadi energi listrik, *Solar Charge Controller* (SCR), yang akan mengendalikan tegangan dan arus untuk penyimpanan energi ke battery, energi dari battery akan digunakan untuk mengoperasikan komponen pengendali sistem, Sistem pengering menggunakan pemanasan dari api yang dikendalikan secara otomatis dengan sistem kombinasi relay.

Secara umum peralatan yang dibuat, diprioritaskan untuk melakukan proses pengeringan secara otomatis, dengan tenaga matahari hybrid LPG, sehingga dalam melakukan proses pengeringan dapat memanfaatkan kelebihan potensi daerah lokal (sinar matahari tegas), dan penghematan dengan menggunakan gas LPG, dibanding pengeringan dengan elemen listrik PLN.

1.3 Metode Perancangan

Metode pengeringan yang selama ini dilakukan, yaitu dengan melakukan penjemuran secara konvensional, dijemur di lapangan terbuka, terpapar matahari (sewaktu matahari tidak bersinar tegas selama 2 hari, maka dipastikan hasil panen buah pinang akan mengalami kerusakan, dengan timbulnya jamur, dan mempengaruhi harga jualnya, semakin rendah). Oleh karena itu dibuat suatu alat yang dapat mengeringkan buah pinang, dan tidak tergantung cuaca, dengan biaya pengoperasiannya tidak mahal.

Mesin Pengering Buah Pinang Tenaga Surya Hybrid Hemat Energi, dikerjakan dalam beberapa tahap, dan setiap tahap akan dilakukan pengujian fungsional komponen / bagian yang dirancang. Blok diagram perancangan alat, seperti pada gambar 1., berikut ini :



Gambar 1. Diagram blok mesin pengering buah pinang tenaga surya hybrid hemat energi

1. Perancangan sistem mekanik

Pada tahapan ini dilakukan perancangan bentuk peralatan dan gerakan mekanik dengan menggunakan kombinasi engsel, baja ringan (tahan air). Juga merancang bentuk rangka dari peralatan yang dibuat.

2. Perancangan sistem tenaga matahari hybrid

Pada tahapan ini dilakukan perancangan sistem konversi tenaga matahari menjadi energi listrik yang akan disimpan didalam battery, energi yang tersimpan akan digunakan untuk mengendalikan sistem elektronika, sehingga secara umum peralatan dapat dipergunakan pada daerah yang tidak terjangkau jaringan distribusi listrik PLN.

3. Perancangan sistem kendali elektronika

Pada tahapan ini dilakukan perancangan rangkaian elektronika untuk pengendalian pemantikan api secara otomatis dengan inputan sinyal sensor suhu dan kelembapan ruangan pengeringan (sistem elektronika secara umum menggunakan rangkaian kombinasi relay), pewaktu, indikator bunyi, parameter terukur dari masing-masing komponen akan digunakan untuk mengendalikan sistem menjadi otomatis sesuai dengan ketentuan yang dikehendaki.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

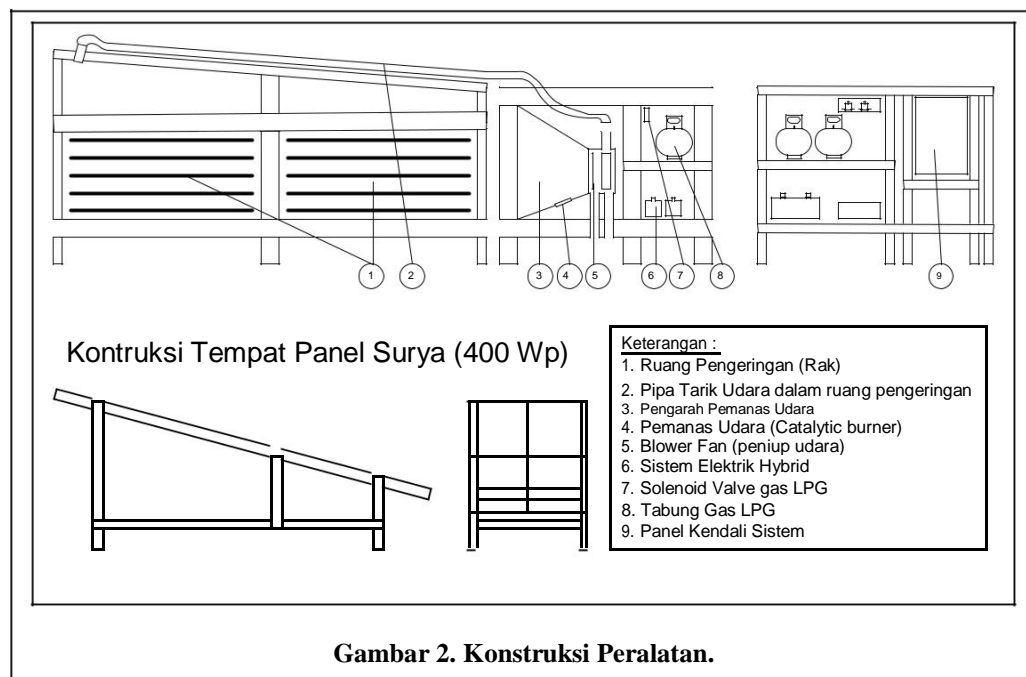
Bentuk peralatan dan gerakan mekanik, dengan kombinasi gerakan mekanik dengan menggunakan kombinasi engsel, baja ringan (tahan air), dan bentuk rangka dari peralatan yang dibuat ; merancang sistem konversi tenaga

matahari menjadi energi listrik yang akan disimpan didalam battery, energi yang tersimpan akan digunakan untuk mengendalikan sistem elektronika ; merancang rangkaian elektronika untuk pengendalian pemanasan api secara otomatis dengan inputan sinyal sensor suhu dan kelembapan ruangan pengeringan (sistem elektronika secara umum menggunakan rangkaian kombinasi relay), pewaktu, indikator bunyi, parameter terukur dari masing-masing komponen akan digunakan untuk mengendalikan sistem menjadi otomatis sesuai dengan ketentuan yang dikehendaki.

Langkah-langkah pelaksanaan perancangan adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan kerangka peralatan dengan menggunakan baja ringan, galvalum, Kanal C 0,6mm, hollow 4 x 3 cm, plat 0.4-0.5 mm, ukuran kisaran 200 x100 x 150 cm, berbentuk limas
2. Pembuatan rak pengeringan bahan baja ringan, galvalum, hollow 4 x 3 cm, plat screen, 5 susun, @ luasan 200 cm²,
3. Pembuatan dan pengujian sistem, panel kendali sistem konversi tenaga matahari hybrid,
4. Pembuatan dan pengujian sistem, panel kendali sistem elektronika,
5. Pengujian gerakan mekanik
6. Pembuatan dan pengujian sistem pemantauan suhu dan kelembapan ruang pengeringan
7. Pembuatan dan pengujian pemanas api gas otomatis.
8. Pengujian sistem elektronika dalam pengendalian sistem pengeringan dengan tenaga matahari hybrid.

Gambaran Peralatan yang akan dibuat :



3. KESIMPULAN

Dari perancangan, pengukuran dan pengujian, dapat disimpulkan, secara umum alat berfungsi sesuai dengan perancangan dengan parameter spesifikasi, waktu yang diperlukan untuk menaikkan suhu ruang pengeringan dari suhu ruang 30°C menjadi suhu pengeringan 50°C-57°C, antara 30-45 menit.

PUSTAKA

- Aosong Electronics Co, (2012), *Temperature and Humidity Module*. DHT22 ProductManual, Guangzhou, China.
- Bishop, Owen .2004. *Dasar-Dasar Elektronika*. Jakarta:Erlangga.
- Dr. Obin Rachmawan, Ir., MS , *Pengeringan, Pendinginan Dan Pengemasan Komoditas Pertanian.*, Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta. 2001
- Fandri C, Rasional Sitepu, Andrew Joewono, *Chips Dryer Applications Using Liquid Petroleum Gas Power*, 2017, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, VOL. 12, NO. 24, DECEMBER 2017, ISSN 1819-6608, ©2006-2017 Asian Research Publishing Network (ARPN). All rights reserved.
- Ir. Marsetio, MS., *Pengeringan Pangan.*, Wordpress.

Syafriyudin, Dwi Prasetyo Purwanto .2009. Oven Pengering Kerupuk Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8535 Menggunakan Pemanas Pada Industri Rumah Tangga.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada LPPM Unika Widya Mandala Surabaya, atas dukungan pendanaan melalui Research Grant penelitian Interdisciplinary 2018;

Kepada Tim Peneliti dosen dan mahasiswa (Sdr. Fian Agustino W, Sdr. Laurentius Nico W, Sdr. Ahmad Hasan K., Sdri. Dewi Wulandari), atas dukungan support dan pembuatan peralatan dalam menciptakan iklim akademik atmosfir untuk kegiatan penelitian bersama (dosen dan mahasiswa)

FOTO ALAT



Tampak peralatan



Tampak peralatan



Tampak Letak Rak Bahan



RANCANG BANGUN MESIN PENGGORENG KERUPUK SINGKONG OTOMATIS- HEMAT ENERGI

Andrew Joewono^{*1}, Fian Agustino W.², Laurentius Nico W.³, Ahmad Hasan K⁴ Dewi Wulandari⁵

¹²³⁴⁵Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

Jl. Kalijudan no.37 Surabaya, 60114,

HP. 0816545335, Telp : 031-3891264, Fax : 031-3891267

email: ^{*1}Andrew_sby@yahoo.com

ABSTRAK

Produksi makanan olahan ringan tidak pernah mengalami penurunan minat konsumen khususnya pada hari libur dan hari-hari besar, didaerah kecamatan Magersari, Kota Mojokerto terdapat beberapa Usaha Kecil Menengah yang memproduksi makanan ringan (kerupuk cassava), mempunyai peralatan produksi yang setiap harinya mampu menghasilkan pengolahan hingga 300 kg, namun didalam proses pengolahan akhir (penggorengan), masih menggunakan sistem konvensional, dan operator yang sudah dilatih khusus, sehingga perlu dibuat peralatan pengoperasiannya tidak memerlukan pengalaman khusus, dan kecepatan untuk melakukan proses penggorengan dapat dilakukan dengan lebih cepat. Dengan adanya alat ini "Mesin penggorengan secara otomatis", maka diharapkan kuantitas dan kualitas hasil produksi dapat meningkat. Alat yang dibuat berfungsi secara otomatis dan hemat bahan bakar. Alat akan berfungsi untuk melakukan pemanasan minyak goreng dengan nyala api gas LPG tekanan tinggi dengan parameter suhu yang terukur dengan sensor suhu PT-100 dan waktu penggorengan yang bisa diatur dengan pewaktu elektronik yang dapat dikendalikan. Peralatan dirancang menggunakan mekanik otomatis peniris dengan mekanik putar yang digerakkan motor DC, untuk melakukan penirisan minyak goreng yang melekat di bahan, dilakukan pemutaran dengan dengan kecepatan tinggi, bahan diletakkan kedalam pemutar dan berputar. Hasil pengujian yang dilakukan secara maksimal, bahan kerupuk kering 150gr, waktu penggorengan 30 detik ; penirisan minyak 1,4detik ; waktu tunggu tuang ke spinner 9,4 detik ; pengeringan minyak melekat bahan 20 detik, sehingga total waktu yang dibutuhkan untuk penggorengan 60,8 detik/150gr.

Kata kunci : Alat Penggorengan, Sensor Suhu, Hemat energi

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan

Kerupuk menurut Standar Industri Indonesia (1985) adalah makanan kering yang terbuat dari tepung tapioka atau tepung sagu dengan atau tanpa penambahan bahan tambahan makanan lainnya yang dibutuhkan.

Pada dasarnya kerupuk mentah diproduksi dengan gelatinisasi pati adonan pada tahap pengukusan seperti pada Gambar 1., selanjutnya adonan dicetak dan dikeringkan. Untuk menjadikan kerupuk matang, dilakukan proses penggorengan. Dengan dilakukan penggorengan maka air yang terikat dalam gel pati akan menguap, akibat peningkatan suhu dan dihasilkan tekanan uap yang mendesak gel pati, sehingga terjadi pengembangan dan sekaligus terbentuk rongga-rongga udara pada kerupuk yang telah digoreng.



Gambar 1. Tampak proses pengukusan adonan kerupuk

Berdasarkan penggunaan proteinnya, kerupuk dibagi menjadi kerupuk tidak bersumber protein dan kerupuk bersumber protein. Kerupuk sumber protein merupakan kerupuk yang mengandung protein (hewani / nabati). Sedangkan kerupuk bukan sumber protein, tidak ditambahkan bahan sumber protein seperti ikan, udang, kedelai dalam proses pembuatannya.

Menurut *Syarifudin, Dwi Prasetyo Purwanto (2009)*, beberapa parameter yang mempengaruhi waktu yang dibutuhkan dalam proses pengeringan kerupuk, antara lain:

c. Suhu Udara Pengering

Suhu udara pengering berpengaruh terhadap lama pengeringan dan kualitas bahan hasil pengeringan. Semakin tinggi suhu udara pengering, maka proses pengeringan makin singkat. Biaya pengeringan dapat ditekan pada kapasitas yang besar, jika digunakan pada suhu tinggi, selama suhu tersebut tidak sampai merusak bahan.

d. Kelembaban Relatif Udara

Kelembaban relatif (RH) juga menentukan besarnya tingkat kemampuan udara pengering dalam menampung uap air di permukaan bahan. Semakin rendah RH udara pengering, makin singkat proses pengeringannya, karena mampu menyerap dan menampung uap air lebih banyak dari pada udara dengan RH yang tinggi.

e. Kecepatan Udara

Pada proses pengeringan, udara berfungsi sebagai pembawa panas untuk menguapkan kandungan air pada bahan, serta mengeluarkan uap air tersebut. Semakin besar volume udara yang mengalir, maka semakin besar pula kemampuannya dalam membawa dan menampung air dari permukaan bahan.

f. Kadar Air Bahan

Pada proses pengeringan, sering dijumpai adanya variasi jumlah kadar air pada bahan. Variasi kadar air akan mempengaruhi waktu proses pengeringan, sehingga perlu diketahui nilai kadar air pada bahan saat basah dan pada saat kering. Semakin sedikit kadar air pada bahan, maka semakin cepat proses pengeringannya. Tampak kerupuk kering seperti pada Gambar 2., berikut ini,



Gambar 2. Tampak kerupuk kering

Produksi makanan olahan ringan tidak pernah menurun minat konsumennya, terutama pada hari libur dan hari-hari besar, di daerah kecamatan Magersari, kota Mojokerto terdapat beberapa Usaha Kecil Menengah (UKM) yang memproduksi makanan ringan (kerupuk cassava), UKM kerupuk singkong "Cassava", mempunyai peralatan produksi yang setiap harinya mampu menghasilkan pengolahan hingga 300 kg, namun didalam proses pengolahan akhir (penggorengan), masih menggunakan sistem konvensional (menggoreng berdasar pengalaman), sehingga hasil penggorengan kerupuk tersebut, berbeda-beda, dan kecepatan untuk melakukan proses penggorengan masih rendah, karena belum adanya peralatan yang otomatis.

UKM kerupuk singkong "Cassava" melakukan proses produksi dari singkong mentah, kemudian dijadikan adonan ditambah perasa, dan dilakukan pengukusan (steam), kemudian di lakukan pendinginan, setelah didinginkan, maka adonan kerupuk siap diproses dengan peng-press-an dan pencetakan, hasil pencetakan dikeringkan dengan alat pengering berbahan bakar gas LPG dan terkendali nilai RH ruang dan suhunya.

Dengan dibuatnya "Mesin penggorengan kerupuk singkong secara otomatis", maka diharapkan hasil produksi dapat lebih berkualitas (warna produk matang, proses otomatisasi yang mempercepat proses produksi, hemat dalam pemakaian minyak goreng karena suhu terkendali), dengan hasil produksi yang berkualitas dan mempunyai kuantitas hasil produksi yang banyak, maka diharapkan terjadi peningkatan pendapatan dalam usaha produksi.

1.2 Tinjauan Pustaka

Untuk menjadikan kerupuk masak dilakukan proses penggorengan, seperti pada Gambar 3. berikut ini,



Gambar 3. Proses penggorengan kerupuk, (cv. Bintang anugrah, 2016)

Berdasarkan penggunaan proteinnya, kerupuk dibagi menjadi kerupuk tidak bersumber protein dan kerupuk bersumber protein. Kerupuk sumber protein merupakan kerupuk yang mengandung protein, baik protein hewani maupun nabati. Sedangkan kerupuk bukan sumber protein, tidak ditambahkan bahan sumber protein seperti ikan, udang, kedelai dan sebagainya dalam proses pembuatannya.

Proses penggorengan yang hemat biaya dilakukan dengan Gas LPG (*Liquified Petroleum Gas*) (dibandingkan dengan pemanasan minyak goreng dengan Listrik PLN). LPG merupakan gas alam yang disimpan dalam sebuah tabung logam dalam wujud cairan. Ketika cairan gas tersebut keluar dari tabung, maka dengan cepat akan berubah menjadi gas yang sangat mudah sekali terbakar. Uap gas tersebutlah yang terbakar menjadi api untuk keperluan memasak. Ukuran tabung baja LPG memiliki tipe dengan kapasitas 3 kg sampai dengan 50 kg. Tabung bertekanan yang dibuat dari plat baja karbon canai panas, digunakan untuk menyimpan gas dengan kapasitas pengisian antara 3 kg (7,3 liter) sampai dengan 50 kg (108 liter) dan memiliki tekanan rancang bangun minimum 18,6 kg/cm² (SNI 1452:2011).

Untuk melakukan proses penggorengan secara otomatis dilakukan dengan menggunakan beberapa modul dan perlengkapan kerja, modul penampung berfungsi untuk menampung krupuk mentah yang akan di goreng, slot penahan akan terbuka secara otomatis dan menjatuhkan krupuk masuk dalam wadah penggorengan. Modul penampung krupuk terdiri dari:

2. Penampung krupuk, sebuah wadah untuk menampung krupuk yang akan di goreng.
3. Penahan krupuk, penahan pembatas untuk mengatur krupuk yang akan dimasukkan ke wadah penggorengan.

Modul penggorengan berfungsi untuk menggoreng krupuk yang sudah diatur oleh modul penampungan. Penggorengan diawali dengan memanaskan minyak titik panas yang dikehendaki. Saat krupuk telah matang, maka krupuk diangkat dan dikirim ke modul penirisan oleh mekanik saringan pengangkut hasil penggorengan. Modul penggorengan terdiri dari:

4. Loyang Penggoreng, terbuat dari *stainless steel*, berfungsi sebagai wadah untuk menggoreng krupuk.
5. Tuas Pengaduk, tuas yang berfungsi untuk mengaduk agar krupuk yang digoreng.
6. Tuas Pengangkat, sejenis Penyaring untuk menangkap krupuk dan meniriskan minyak goreng dan mengangkat krupuk ke modul peniris minyak.

Pengendalian sistem otomatis menggunakan, sistem elektronika dengan sensor suhu, yaitu menggunakan sensor suhu perubahan resistansi PT-100, untuk mendeteksi suhu minyak goreng yang digunakan untuk menggoreng kerupuk, parameter untuk melakukan penirisan hasil penggorengan menggunakan pewaktuan penggorengan, sehingga kematangan kerupuk dapat di buat seragam.

Untuk melakukan pemanasan minyak goreng digunakan kompor tekanan tinggi dengan bahan bakar gas LPG. Dalam keadaan penggorengan, minyak akan dipanaskan secara terus menerus, pada alat yang direncanakan ini digunakan batasan suhu maksimal pemanasan minyak goreng 200°C, sewaktu suhu minyak akan melebihi batas suhu tersebut, maka pemanasan akan dihentikan, supaya suhu minyak goreng tidak terus meningkat, untuk menghindari terbakarnya kandungan partikel dalam minyak goreng tersebut, yang menyebabkan minyak akan berubah warna menjadi kecoklatan dan keruh.

Sistem penggerak mekanik menggunakan kombinasi mekanika, yang digerakkan motor listrik. Secara umum peralatan yang dibuat, diprioritaskan untuk melakukan proses penggorengan secara otomatis, dapat melakukan penggorengan dan penirisan hasil gorengan, secara elektronik-mekanika, dan sedikit operator, dengan hemat

biaya pemakaian, sehingga hasil produksi penggorengan dapat meningkat, dan mempunyai kualitas yang seragam.

1.3 Metode Perancangan

Proses produksi kerupuk singkong di mitra UKM, dilakukan dengan cara konvensional, seperti tampak dibawah ini,



1. Proses giling pembuatan adonan



2. Proses pengadukan adonan



2. Proses pengukusan (steam)



4. Proses peng-pres-an dan pencetakan



5. Proses penjemuran (konvensional)



6. Proses penjemuran di atas lantai (konvensional)



7. Proses penggorengan

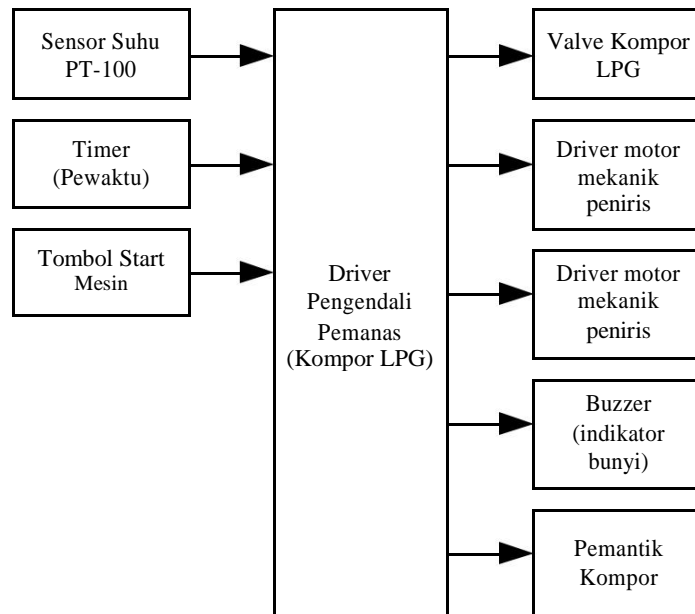


8. Proses Pengemasan (timbang)



9. Proses pengemasan (las kemasan)

Alat penggoreng kerupuk singkong otomatis-hemat energi ini, dirancang seperti diagram blok perancangan alat sebagai berikut :



Gambar 4. Diagram Blok Alat Penggoreng Kerupuk Singkong Otomatis-Hemat Energi

Langkah-langkah yang dilakukan meliputi:

4. Perancangan sistem mekanik

Pada tahapan ini dilakukan perancangan bentuk peralatan dan gerakan mekanik, untuk menggerakkan wadah peniris bahan yang digoreng dengan menggunakan kombinasi roda puli yang diputar motor listrik. Juga merancang bentuk rangka dari peralatan yang dibuat.

Pengujian yang dilakukan pada tahap ini, dengan melakukan uji gerakan mekanika secara konvensional (digerakkan dengan energi motor dan pengungkit)

5. Perancangan sistem elektronika

Pada tahapan ini dilakukan perancangan rangkaian elektronika untuk pengendalian sensor suhu PT-100, pewaktu, pemantik kompor gas LPG secara elektronika, indikator bunyi, parameter terukur dari masing-masing komponen akan digunakan untuk mengendalikan sistem menjadi otomatis sesuai dengan ketentuan yang dikehendaki.

Pengujian yang dilakukan pada tahap ini, dengan melakukan uji rangkaian elektronika dengan melakukan pengukuran nilai tegangan dan konversi suhu terhadap sistem pengendali otomatisnya.

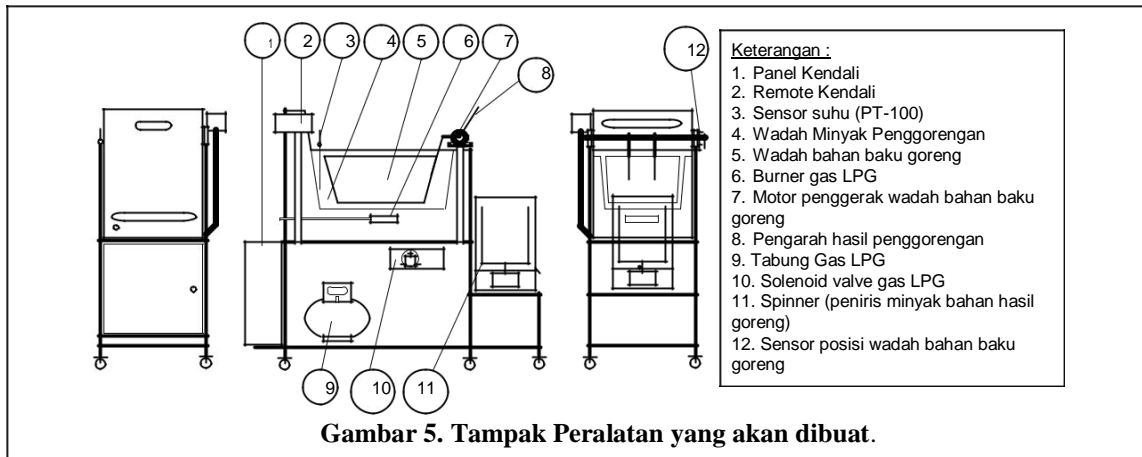
2. PEMBAHASAN

Peralatan dibuat dengan dengan tahapan meliputi, perancangan gerakan mekanik, dengan penggerak motor DC, rangkaian pengendali dengan menggunakan kombinasi relai dan sensor suhu PT-100, pewaktu, pemantik kompor gas LPG secara elektronika, indikator bunyi, parameter terukur dari masing-masing komponen akan digunakan untuk mengendalikan sistem menjadi otomatis sesuai dengan ketentuan yang dikehendaki. Langkah-langkah pelaksanaan perancangan adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan kerangka peralatan dengan menggunakan besi
2. Pembuatan wadah penggorengan dengan stainless steel, volume 5 liter
3. Pembuatan wadah peniris hasil produksi, bahan dari kasa stainless steel
4. Pembuatan mekanika gerak, wadah peniris (penggerak dan motor DC)
5. Pengujian gerakan mekanik
6. Pembuatan rangkaian elektronika sensor suhu dan pengendali sistem
7. Pembuatan pemantik kompor otomatis.
8. Pengujian sistem elektronika dalam pengendalian sistem penggorengan otomatis.

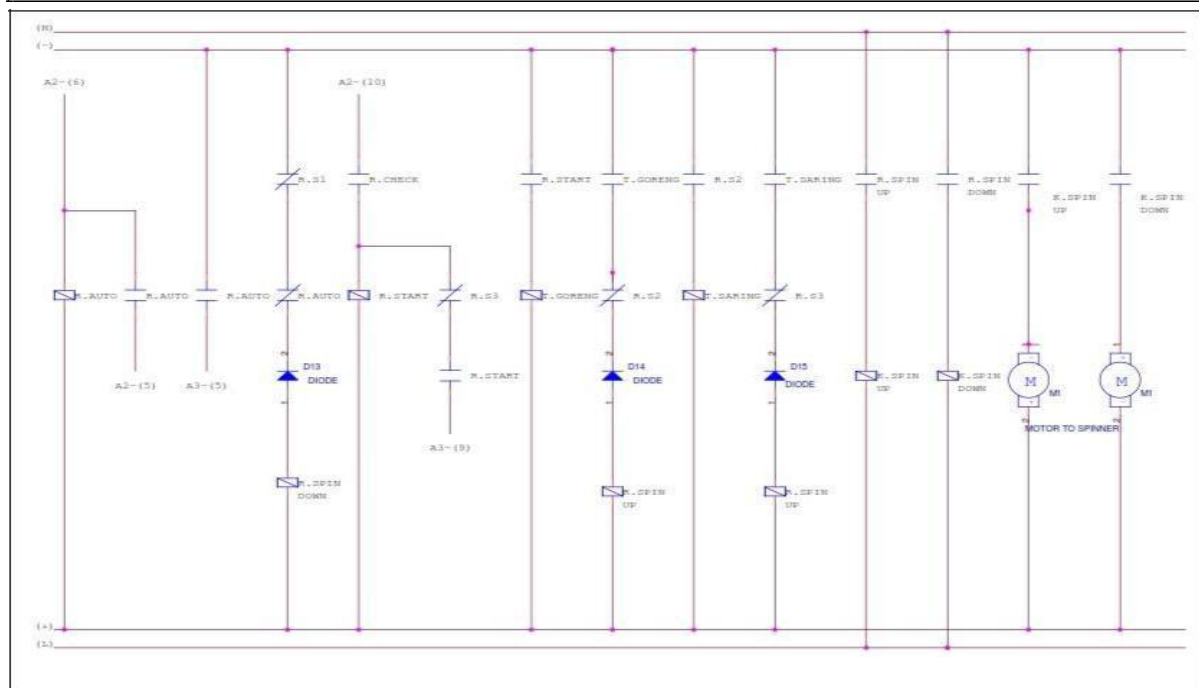
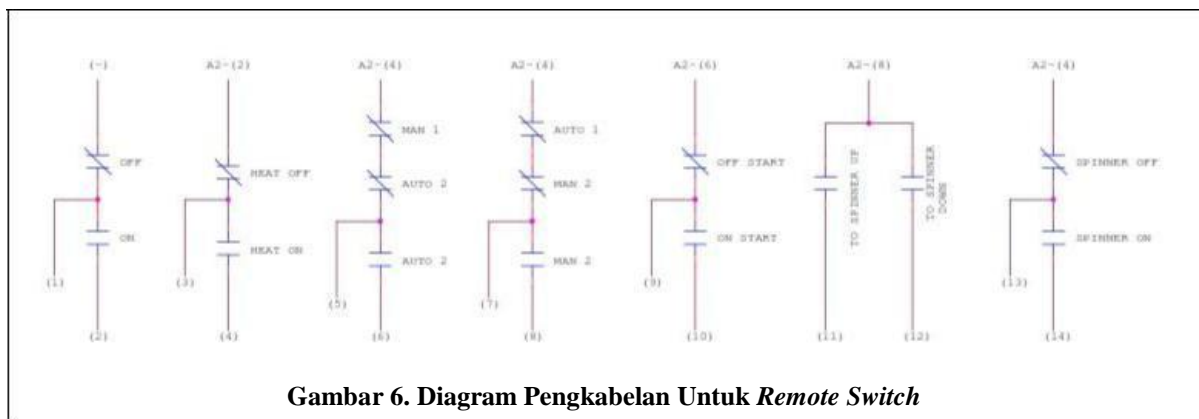
2.1 Perancangan Mekanika

Gambaran Peralatan yang akan dibuat ditunjukkan pada Gambar 5. berikut ini,

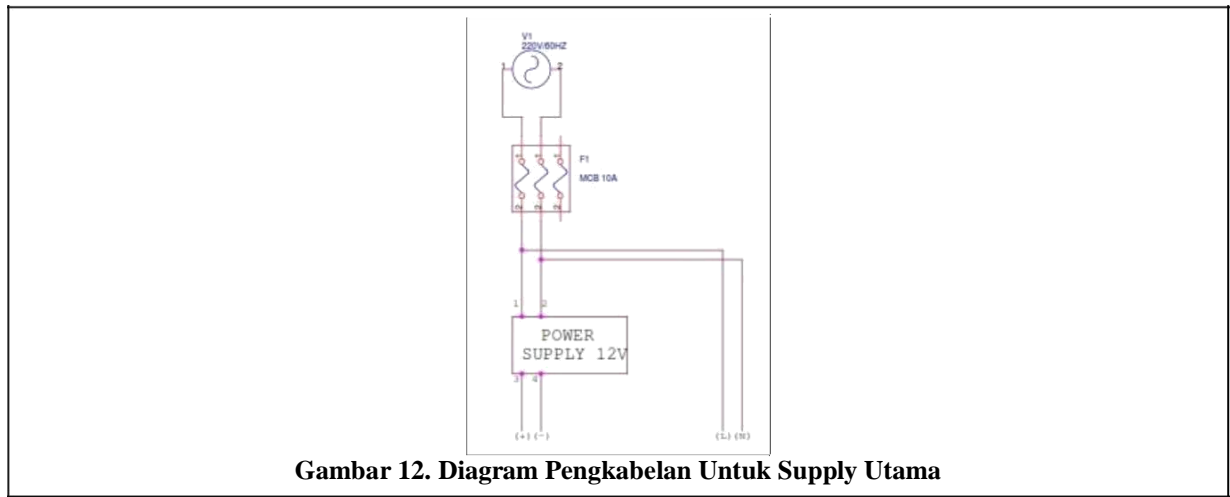
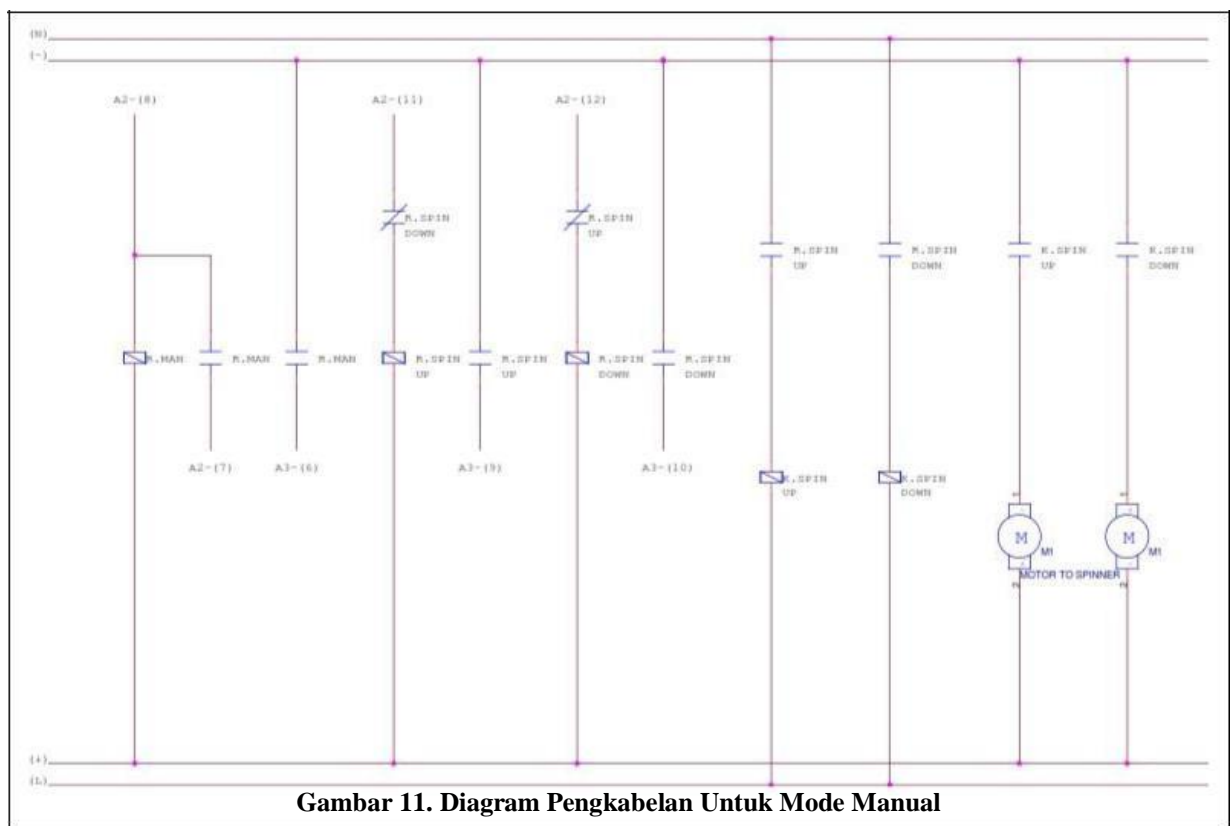
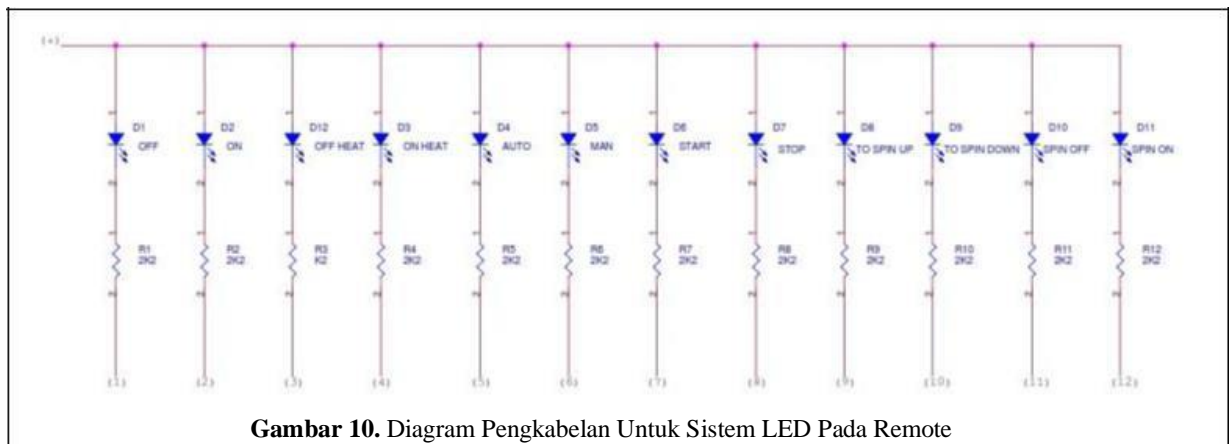


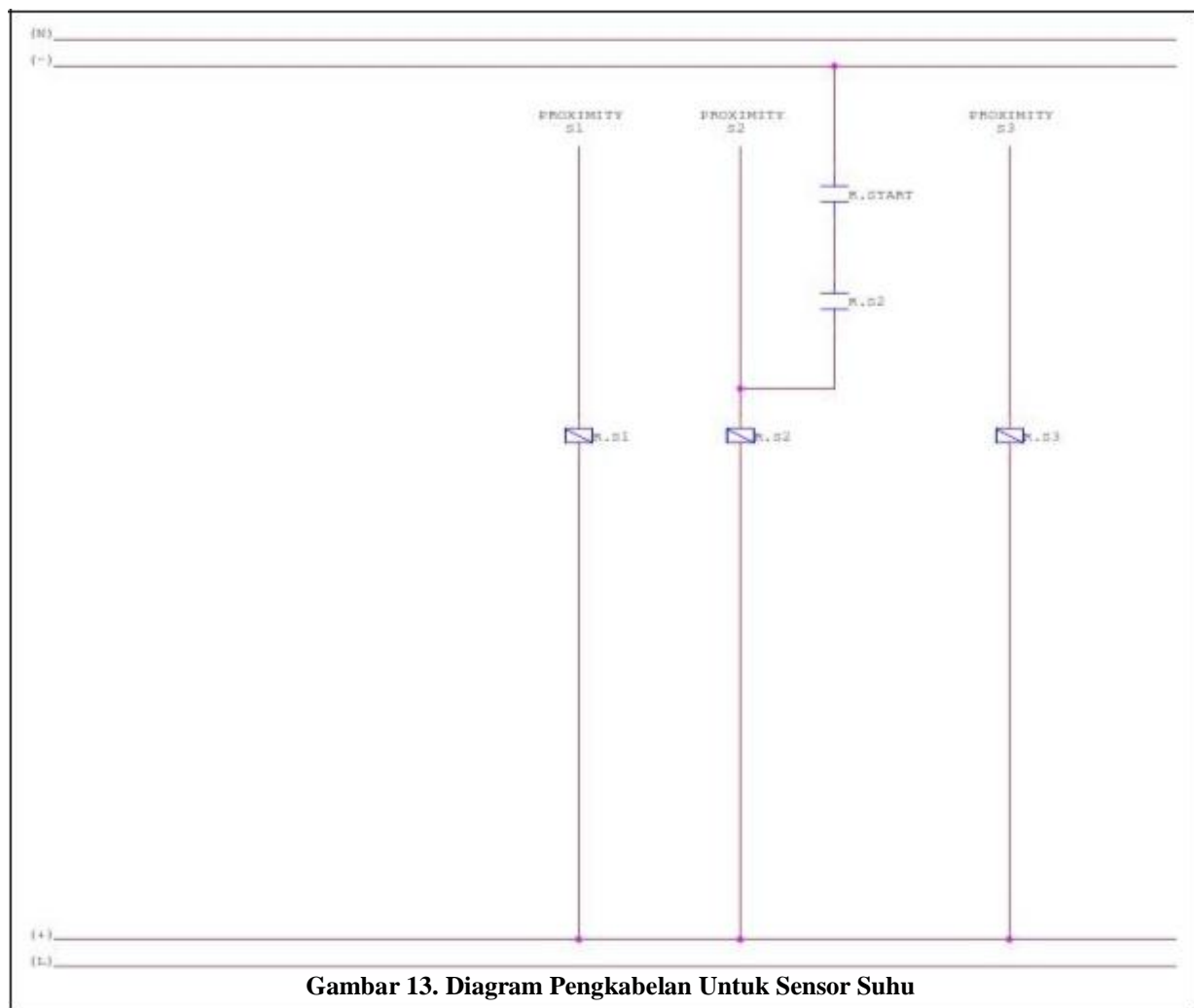
2.2 Perancangan Sistem Elektronik

Perancangan sistem elektronika menggunakan temperatur kontroler sensor suhu pt-100, dengan kombinasi relay, dengan diagram pengkabelan seperti pada Gambar 6. - 16. dibawah ini :

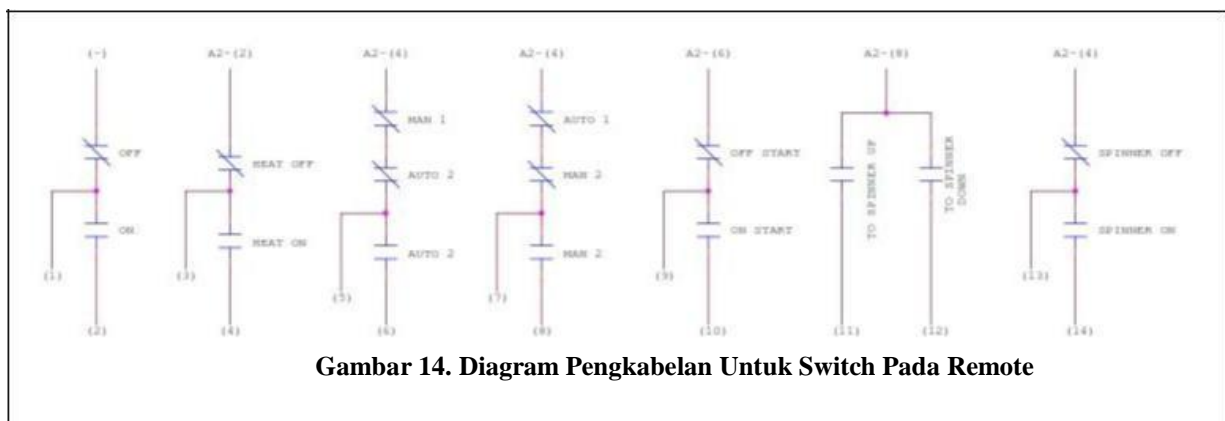




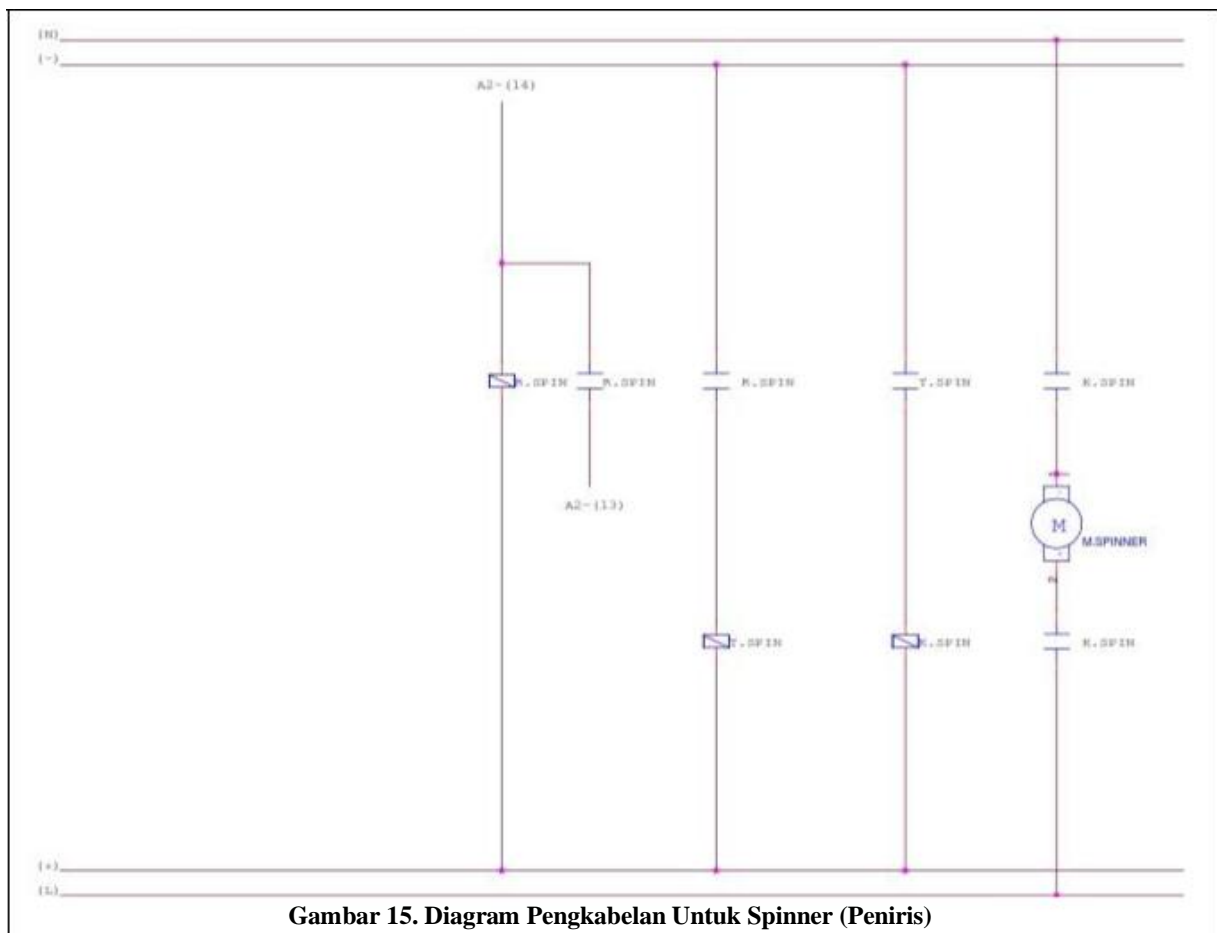




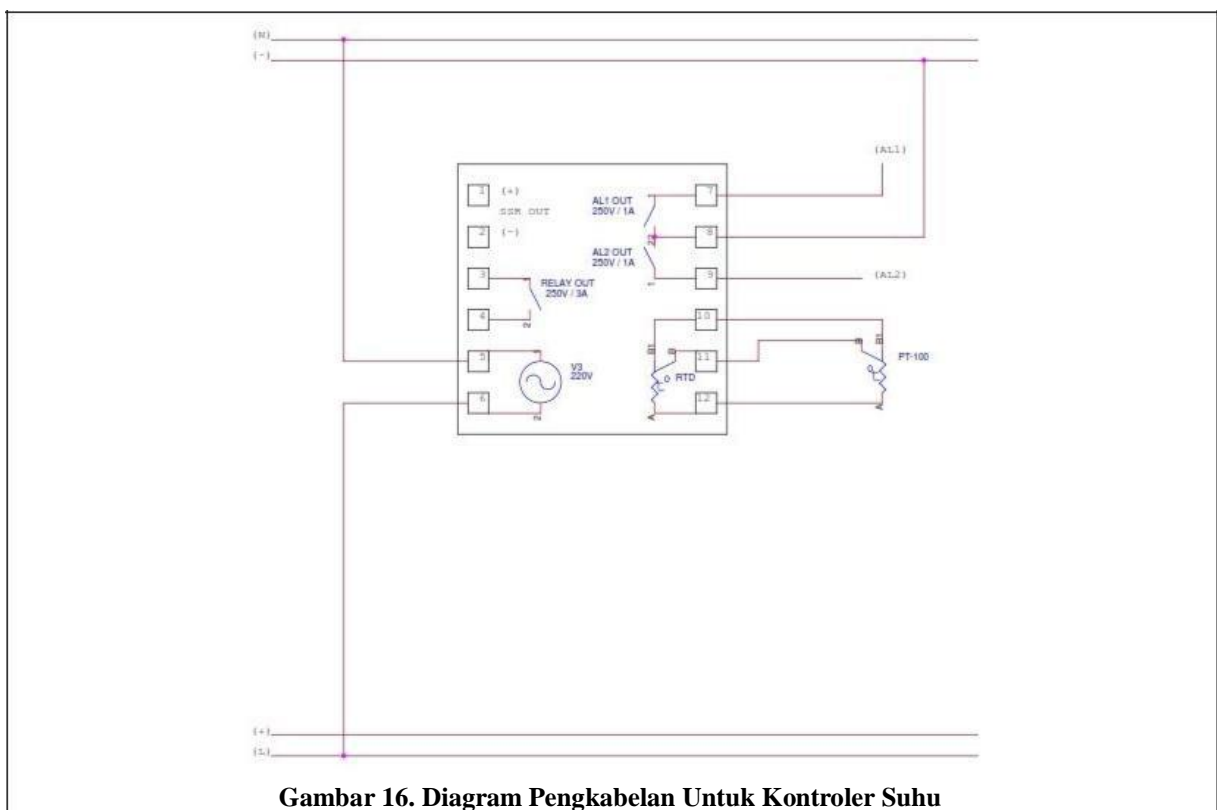
Gambar 13. Diagram Pengkabelan Untuk Sensor Suhu



Gambar 14. Diagram Pengkabelan Untuk Switch Pada Remote



Gambar 15. Diagram Pengkabelan Untuk Spinner (Peniris)



Gambar 16. Diagram Pengkabelan Untuk Kontroler Suhu

2.3 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan menggoreng bahan baku kerupuk singkong, dan diukur waktu proses penggorengan dan parameter kelistrikkannya, dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Pengujian Penggorengan Kerupuk Singkong

Percobaan ke-	Waktu Proses Penggorengan (detik)	Berat bahan (gram)
1	43	150
2	40	150
3	42	150
4	41	150
5	40	150
6	42	150
7	43	150
8	42	150
9	43	150
10	41	150
Rata-rata	41.7	150

Dari hasil pengujian, waktu yang diperlukan untuk melakukan penggorengan dengan bahan baku 150gr, membutuhkan waktu berkisar 40 hingga 43 detik, sehingga rerata dari waktu yang dibutuhkan 41.7 detik. Sehingga untuk melakukan penggorengan dengan bahan baku 1000gr (1Kg), akan membutuhkan waktu 4.6 menit, waktu yang efisien untuk proses produksi.

Hasil pengukuran energi listrik didapatkan sebagai berikut,

Spesifikasi peralatan	
Pemakaian Daya (W) stand by	8,5 Watt
Power On	12,5 Watt
Burner On	24,5 Watt
Spinner On	144,5 Watt
Kapasitas Minyak	5 liter
Tegangan kerja	220V
Dimensi (pxlxt) cm	108, 113, 113

Prosedur untuk menjalankan peralatan sebagai berikut :

Cara pengoperasian mesin secara manual :

1. Hubungkan kabel power pada stop kontak
2. Siapkan minyak dan tuang pada wadah hingga menyentuh batas garis maksimum (4,5 - 5 liter)
3. Tekan tombol (ON), maka kompor akan menyala, suhu terbaca pada monitor akan meningkat. Saat suhu sudah mencapai 200oC, maka buzzer akan berbunyi (tanda proses penggorengan siap digunakan)
4. Jika ingin menggunakan mode manual, tekan tombol (MANUAL), maka bel akan berhenti berbunyi dan penggorengan akan menyala secara manual sesuai dengan permintaan operator
5. Kerupuk siap dimasukkan dalam wadah penggorengan (untuk hasil maksimal, cukup 150 gr)
6. Setelah memasukkan kerupuk maka wadah penggoengan akan digerakkan secara manual dengan tombol (UP), berarti mengangkat keranjang wadah penggorengan dan tombol (DOWN) berarti menurunkan keranjang tsb.
7. Jika ingin meniriskan minyak dengan spinner, tekan tombol (START) spinner akan menyala dan berputar untuk meniriskan minyak selama \pm 1 menit 30 detik.
8. Proses penggunaan secara manual selesai.

Cara pengoperasian mesin secara otomatis :

1. Hubungkan kabel power pada stop kontak
2. Siapkan minyak dan tuang pada wadah hingga menyentuh batas garis maksimum (4,5 - 5 liter)
3. Tekan tombol (ON), maka kompor akan menyala, suhu terbaca pada monitor akan meningkat. Saat suhu sudah mencapai 200oC, maka buzzer akan berbunyi (tanda proses penggorengan siap digunakan)
4. Jika ingin menggunakan mode otomatis, tekan tombol (AUTO), kemudian tekan tombol (START), maka buzzer akan berhenti berbunyi dan penggorangan akan beroperasi secara otomatis sesuai dengan pengaturan yang sudah ditetapkan
5. Masukkan kerupuk (untuk hasil maksimal sebanyak 150gram), proses penggorengan selama 1 menit.

9. Setelah 1 menit, maka secara otomatis, wadah penggorengan akan mengangkat dan meniriskan minyak penggorengan selama 15 detik, lalu kerupuk akan diarahkan untuk masuk kedalam spinner, dan wadah penggorengan akan kembali siap di posisinya untuk melakukan penggorengan.
10. Proses melakukan penirisan minyak dengan spinner, dilakukan dengan menekan tombol (START) spinner, maka spinner akan berputar selama ± 1 menit 30 detik.
11. Proses penggorengan secara otomatis selesai

3. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian, waktu yang diperlukan utk melakukan penggorengan dengan bahan baku 150gr, membutuhkan waktu berkisar 40 hingga 43 detik, sehingga rerata dari waktu yang dibutuhkan 41.7 detik. Sehingga untuk melakukan penggorengan dengan bahan baku 1000gr (1Kg), akan membutuhkan waktu 4.6 menit, waktu yang efisien untuk proses produksi.

PUSTAKA

- Bishop, Owen , 2004, *Dasar-Dasar Elektronika.*, Jakarta: Erlangga.
- Syafriyudin, Dwi Prasetyo Purwanto , 2009, *Oven Pengering Kerupuk Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8535 Menggunakan Pemanas Pada Industri RumahTangga*,
- Unknown, 2012, http://www.lemigas.esdm.go.id/id/prdk_penelitian-264-.html, LEMIGAS, diakses 9 April 2013.
- Unknown, 2012, *Temperature and Humidity Module DHT22 Product Manual*, Aosong Electronics Co ,Guangzhou, China.
- Unknown, 2015, *Prinsip Kerja Motor Induksi 1 Fasa*, <http://www.insinyoer.com/prinsip-kerja-motor-induksi-1-fasa/>, diakses tanggal 15 November 2016.
- Unknown, 2015, *Teori Motor Stepper: Jenis dan Prinsip Motor Stepper*, <http://zoniaelektro.net/motor-stepper/>, diakses tanggal 06 Mei 2017

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada LPPM Unika Widya Mandala Surabaya, atas dukungan pendanaan melalui Research Grant penelitian PPPG (Pusat Penelitian Pangan dan Gizi) 2018;

Kepada Tim Peneliti dosen dan mahasiswa (Sdr. Fian Agustino W, Sdr. Laurentius Nico W, Sdr. Ahmad Hasan K., Sdri. Dewi Wulandari), atas dukungan support dan pembuatan peralatan dalam menciptakan iklim akademik atmosfir untuk kegiatan penelitian bersama (dosen dan mahasiswa)

FOTO ALAT



RANCANG BANGUN SISTEM TENAGA SURYA DENGAN BATTERY CHARGE CONTROLLER HYBRID

Rasional Sitepu¹, Andrew Joewono², Peter R Angka³, Andrian T.⁴

¹²³⁴Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
Jl. Kalijudan no.37 Surabaya, 60114,
HP. 0816545335, Telp : 031-3891264, Fax : 031-3891267
email: ^{*1}Andrew_sby@yahoo.com

ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik merupakan kebutuhan yang utama di dalam kehidupan, namun pemenuhannya kurang merata, sehingga dikembangkan penggunaan energi terbarukan. Didalam melakukan penyediaan energi listrik dari energi surya, perlu dikembangkan sistem pengendalian penggunaan energi listriknya antara listrik PLN dan listrik dari energi surya, sehingga perlu dirancang dan dibuat sistem tenaga surya dan sistem pengendali energi listrik yang dihasilkan dari sinar matahari, secara hybrid dan portabel. Dirancang suatu alat konversi energi matahari ke energi listrik dan disimpan didalam battery, supaya sistem kelistrikan tersebut dapat berfungsi secara kontinyu (tidak tergantung dengan sinar matahari saja), maka sistem di kombinasikan dengan energi listrik dari listrik PLN, sehingga sistem yang dirancang ini dapat dipergunakan secara fleksibel (bisa menggunakan listrik PLN, atau prioritas menggunakan energi sinar matahari), dan dibuat properti yang kompak, sehingga dapat dengan mudah untuk dipindahkan pada ruangan rumah. Sistem pemantauan energi dengan menggunakan sensor tegangan dari battery, dengan rentang pembacaan konversi 0-4,98V, dan sensor arus dengan rentang 2,68-22,02A. Proses perpindahan sistem (jalur energi surya dan energi listrik PLN), terjadi jika tegangan aki dibawah 11.2V, perpindahan jalur listrik mempunyai delay 10 detik

Kata Kunci : Sistem Tenaga Surya, Battery Charge Controller Hybrid

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan

Pada era sekarang kebutuhan akan sumber energi menjadi salah satu kebutuhan utama, Akan tetapi pada daerah-daerah tertentu pasokan listrik masih sangatlah minim. Tercatat pada peta ketenagalistrikan, terdapat 12.659 desa yang belum memperoleh aliran listrik secara memadai. Bahkan 2.519 desa diantaranya masih benar-benar gelap (tak tersentuh aliran listrik). Se jauh ini berdasarkan data potensi desa dari BPS (Badan Pusat Statistik) pada tahun 2017, jaringan PLN baru menjangkau 69.531 atau sekitar 85% dari 82.190 desa di Indonesia, dan 2.519 desa dari 12.659 desa sisanya tidak mendapatkan akses listrik sama sekali. Hal ini dikarenakan sumber akses energi listrik yang sangat kurang (data kementrian ESDM, 2017).

Untuk mengatasi krisis tersebut, maka pemanfaatan energi matahari sebagai sumber alternatif sangat diperlukan. Disamping jumlah energinya yang tidak terbatas, pemanfaatannya juga tidak mencemari lingkungan. Cahaya dari matahari dapat dikonversikan dengan menggunakan photovoltaic (PV) atau yang biasa disebut sebagai panel surya.

Dengan melakukan kombinasi teknologi energi terbarukan dengan pembangkit energi listrik lain (listrik PLN g. generator listrik dan penyimpanan baterai), adalah langkah yang mungkin dilakukan menghasilkan listrik pada daerah-daerah yang minim pasokan listrik secara kompetitif. Sistem ini disebut sebagai sistem energi listrik hybrid dan digunakan untuk menyediakan listrik bagi pedesaan di negara-negara berkembang khususnya di Indonesia.

Pada sistem energi listrik hybrid Battery Charge Controller Sistem Hybrid, merupakan peralatan yang sangat penting. Alat ini akan mengkombinasikan energi terbarukan dan generator pembangkit energi listrik untuk menyediakan listrik didaerah yang minim akan pasokan listrik.

Penggunaan energi listrik dari sinar matahari, banyak digunakan dengan pengendalian energi listrik yang dihasilkan bersumber hanya pada satu inputan, yaitu energi listrik dari konversi energi sinar matahari dan disimpan dalam *battery*, untuk selanjutnya dipergunakan sesuai dengan kebutuhan. Pada sistem tenaga listrik hybrid ini, dirancang suatu alat konversi energi matahari ke energi listrik dan disimpan didalam *battery*, supaya sistem kelistrikan tersebut dapat berfungsi secara kontinyu (tidak tergantung dengan sinar matahari saja), maka sistem di kombinasikan dengan energi listrik dari genset atau listrik PLN (sebagai pilihan dari sistem), sehingga sistem yang dirancang ini dapat dipergunakan secara fleksibel (bisa menggunakan listrik PLN / Genset, atau prioritas menggunakan energi sinar matahari), dan dibuat properti yang kompak, sehingga dapat dengan mudah untuk dipindahkan pada ruangan rumah.

Oleh karena itu pembuatan alat ini, akan menciptakan suatu alat baru dari pengembangan peralatan sistem tenaga surya yang sudah ada, menjadi suatu peralatan sistem tenaga surya dengan pengendali *battery* secara

hybrid, dan portabel, sehingga peralatan mempunyai manfaat yang besar untuk daerah-daerah yang membutuhkan energi listrik untuk melakukan aktivitas kehidupannya, dengan prioritas energi sinar matahari.

Rancangan yang dibuat bertujuan untuk membuat suatu alat pengendali konversi sinar matahari menjadi energi listrik portabel dengan kendali *Battery Charge Controller* (BCR) hybrid (listrik PLN / Genset), dengan prioritas energi matahari.

1.2 Tinjauan Pustaka

Pemakaian energi terbarukan (*renewable energy*) dalam komposisi pembangkit listrik PLN ditargetkan mencapai 10 persen pada tahun 2010. Untuk itu seluruh unit PLN yang tersebar di berbagai daerah untuk segera melaksanakan program pemanfaatan energi terbarukan.

Saat ini, sebagian pembangkit listrik PLN masih memanfaatkan bahan bakar fosil. Bahkan, pada berbagai unit pelayanan di daerah sebagian besar masih mengoperasikan PLTD. Menurut Ali Herman Ibrahim, jumlah PLTD yang dioperasikan oleh PLN diseluruh Indonesia saat ini mencapai sekitar 4700 unit.

Memasuki abad 21, persediaan minyak dan gas bumi semakin menipis. Sementara kebutuhan akan energi semakin meningkat, utamanya di negara-negara industri akan meningkat sampai 70% antara tahun 2000 sampai dengan 2030. Pada tahun 2015, kebutuhan energi listrik akan mencapai 19,5 - 20 trilyun kWh. Namun sumber energi primer (minyak dan gas bumi) hanya mampu menyumbang 12,4 Trilyun Kwh saja, sesuatu hal yang memprihatinkan dan mengkhawatirkan mengingat minyak dan gas bumi yang selama ini kita andalkan suatu saat nanti akan habis, di Indonesia diperkirakan dalam waktu 18 tahun lagi akan habis. Status persediaan minyak dunia diperkirakan akan habis 23 tahun ke depan, gas akan habis 62 tahun ke depan, sedangkan batu bara 146 tahun ke depan tidak akan tersedia lagi.

Energi surya merupakan energi yang potensial dikembangkan di Indonesia, mengingat Indonesia merupakan negara yang terletak di daerah khatulistiwa. Energi surya yang dapat dibangkitkan untuk seluruh daratan Indonesia yang mempunyai luas 2 juta km² adalah sebesar 5,10 mW atau 4,8 kWh/m²/hari atau setara dengan 112.000 gWp.

Ketersediaan energi listrik di daerah-daerah juga tidak merata yang dikarenakan kurangnya jaringan distribusi listrik, mengingat pembangunan untuk distribusi memerlukan pendanaan yang cukup besar. Pembangkitan listrik yang selama ini menggunakan jaringan PLN memerlukan efisiensi sistem untuk keberlanjutannya, sehingga dipikirkan untuk membuat sistem pembangkit tenaga listrik sistem hybrid yang bisa menjangkau daerah-daerah yang belum teraliri jaringan listrik PLN, untuk dipergunakan sewaktu-waktu bila diperlukan (musim kemarau yang mengakibatkan kekeringan, maka diperlukan pompa air yang umumnya digerakkan energi listrik). Sistem hybrid yang dikembangkan menggabungkan energi listrik dari cahaya matahari dan generator listrik, yang dirancang untuk dapat dipindah-pindahkan dengan mudah (bergerak).

Pemanfaatan Energi Surya (Hasna, 2012)

Energi surya berupa radiasi elektromagnetik yang dipancarkan ke bumi berupa cahaya matahari yang terdiri atas foton atau partikel energi surya yang dikonversikan menjadi energi listrik. Energi surya yang sampai pada permukaan bumi disebut sebagai radiasi surya global yang diukur dengan kepadatan daya pada permukaan daerah penerima. Rata-rata nilai dari radiasi surya atmosfer bumi adalah 1.353 W/m² yang dinyatakan sebagai konstanta surya. Intensitas radiasi surya dipengaruhi oleh waktu siklus perputaran bumi, kondisi cuaca meliputi kualitas dan kuantitas awan, pergantian musim dan posisi garis lintang. Intensitas radiasi sinar matahari di Indonesia diasumsikan maksimal berlangsung 4 - 5 jam per hari.

Produksi energi surya pada suatu daerah dapat dihitung sebagai berikut:

(1)

dimana,

E = Energi (daya) surya yang dihasilkan (W)

4. = Isolasi/Intensitas radiasi surya rata-rata yang diterima selama satu jam (W/m²)

A = Luas area (m²)

Energi surya yang dikonversikan menjadi energi listrik disebut juga energi *photovoltaic*. Pada awalnya teknologi ini digunakan sebagai pembangkit listrik di daerah pedesaan terpencil, kemudian berkembang menjadi lampu penerangan jalan berenergi surya, penyediaan listrik di tempat umum seperti rumah peribadatan, pelayanan kesehatan, instansi-instansi pemerintah. Walaupun awalnya hanya cukup untuk kebutuhan penerangan namun PLTS cukup membantu elektrifikasi di tempat yang membutuhkan. Selain itu telah tersedia pula pompa air tenaga surya, yang digunakan untuk pengairan irigasi atau sumber air bersih (air minum).



Gambar 1. Pembangkit listrik tenaga surya

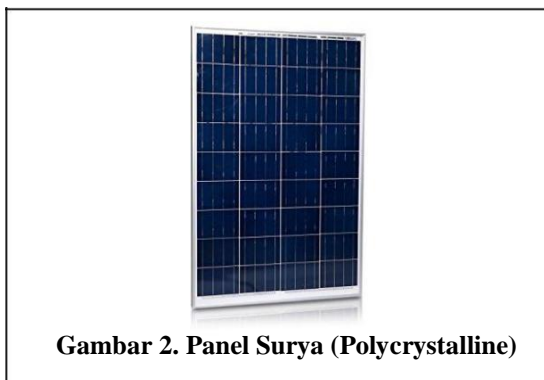
Prinsip Kerja Teknologi *Photovoltaic* (PV)

Cahaya matahari diubah menjadi energi listrik melalui modul surya yang terbuat dari bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor, merupakan bahan semi logam yang memiliki partikel yang disebut elektron-proton, partikel ini akan digerakkan oleh energi dari luar (cahaya matahari), yang akan membuat pelepasan elektron, sehingga menimbulkan arus listrik dan pasangan elektron *hole*. Modul surya mampu menyerap cahaya sinar matahari yang mengandung gelombang elektromagnetik atau energi foton ini. Energi foton pada cahaya matahari ini menghasilkan energi kinetik yang mampu melepaskan elektron-elektron ke pita konduksi, sehingga menimbulkan arus listrik. Energi kinetik akan makin besar seiring dengan meningkatnya intensitas cahaya dari matahari. Intensitas cahaya matahari tertinggi diserap bumi di siang hari, sehingga menghasilkan tenaga surya yang diserap bumi ada sekitar 120.000 terra Watt. Jenis logam yang digunakan juga akan menentukan kinerja daripada sel surya.

Adapun komponen-komponen yang terdapat dalam modul tenaga surya antara lain, dijelaskan berikut ini.

1. Modul Surya

Komponen utama dari PV yang dapat menghasilkan energi listrik DC disebut panel surya atau modul surya. Panel surya terbuat dari bahan semikonduktor (umumnya *silicon*), apabila disinari oleh cahaya matahari dapat menghasilkan arus listrik. Untuk dapat memanfaatkan energi matahari, maka dibutuhkan alat untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik yaitu panel surya. Pada gambar 2 dan 3., merupakan gambar dari panel surya.



Gambar 2. Panel Surya (Polycrystalline)



Gambar 3. Panel Surya (Monocrystalline)

Panel Surya dibagi atas 2 jenis, diantaranya :

1. Monokristal (Mono-crystalline)

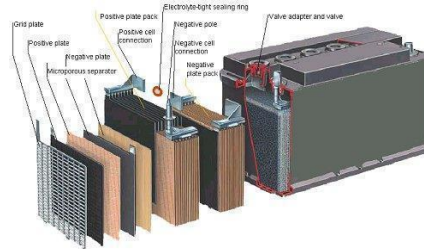
Tipe monokristal merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini karena menghasilkan daya listrik yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Tipe ini memiliki tingkat efisiensi mencapai 15%. Kelemahan dari tipe ini adalah tidak berfungsi dengan baik pada tempat yang cahaya matahari kurang (mendung), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan, ditampilkan seperti pada gambar 3.

2. Polikristal (Poly – crystalline)

Pada gambar 2. merupakan gambar solar panel tipe polikristal. Tipe ini memiliki susunan kristal acak karena dibuat dengan proses pengecoran. Untuk menghasilkan daya listrik yang sama dengan monokristal, tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang lebih rendah, ditampilkan seperti pada gambar 2.

3. Battery/Aki

Battery atau aki adalah penyimpan energi listrik yang dihasilkan dari modul surya pada saat PV tersinari matahari. *Battery* yang cocok digunakan untuk PV adalah *battery deep cycle lead acid* yang mampu menampung kapasitas 100 Ah, 12 V, dengan efisiensi sekitar 80%. Waktu pengisian *battery*/aki selama 12 jam - 16 jam. Gambar 4.



Gambar 4. *Battery*/aki sebagai penyimpan energi listrik.

4. Battery Charge Controller (BCR)

Battery Charge Controller adalah alat yang mengatur pengisian arus listrik dari modul surya ke *battery*/aki dan sebaliknya. Saat isi *battery* tersisa 20% sampai 30%, maka regulator akan memutuskan dengan beban. *Battery Charge Controller* juga mengatur kelebihan energi pengisi *battery* dan kelebihan tegangan dari modul surya. Manfaat dari komponen ini juga untuk menghindari *full discharge* dan *overloading* serta memonitor suhu *battery*. Kelebihan tegangan dan pengisian dapat mengurangi umur *battery*. *Regulator battery* dilengkapi dengan *diode protection* yang menghindarkan arus DC dari *battery* agar tidak masuk ke panel surya lagi. Bentuk alat seperti pada gambar 5.

5. Inverter

Inverter adalah alat yang mengubah arus DC menjadi AC sesuai dengan kebutuhan peralatan listrik yang digunakan. Alat ini mengubah arus DC dari *battery* menjadi arus AC untuk kebutuhan beban-beban yang menggunakan arus AC. Deskripsi alat seperti pada gambar 6.

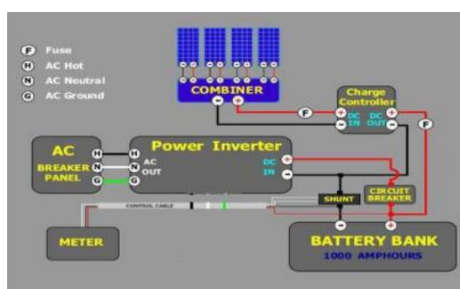


Gambar 5. Contoh regulator *battery*.

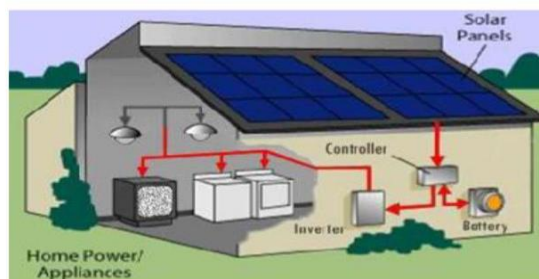


Gambar 6. *Inverter* untuk mengubah arus DC menjadi AC.

Secara umum instalasi untuk teknologi photovoltaic, digambarkan pada gambar 7. berikut ini,



Gambar 7. Skema lengkap teknologi *photovoltaic*.



Gambar 8. *Solar Home Sistem* dan komponen-komponennya.

Aplikasi Teknologi PV

Ada beberapa aplikasi teknologi PV yang saat ini sedang dikembangkan di Pulau Saugi antara lain *Solar Home Sistem*, lampu penerangan tenaga surya, dan pompa air tenaga surya.

9. Solar Home Sistem

Solar Home Sistem (SHS) biasanya diterapkan pada rumah tinggal, tempat ibadah, puskesmas, dan instansi pemerintah di daerah terpencil seperti pedesaan. Komponen utama yang digunakan adalah modul surya, *battery/aki*, *regulator battery*, *inverter*, dan kabel. Skema SHS terlihat pada gambar 8.

10. Lampu jalan tenaga surya

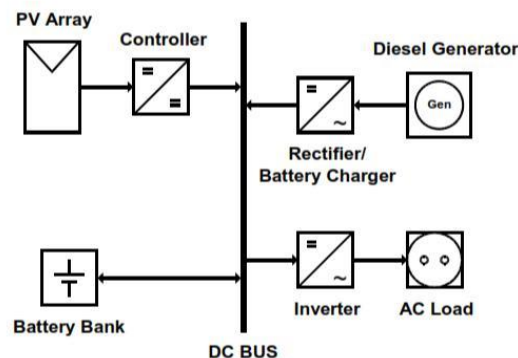
Lampu jalan tenaga surya sangat besar manfaatnya dalam rangka penghematan energi listrik PLN yang membutuhkan BBM itu. Adapun komponen utamanya terdiri atas modul surya 50 Wp-100 Wp, *battery*, *regular battery*, lampu jalan DC, tiang lampu, dan alat control pengatur waktu penggunaan dan intensitas cahaya. Lampu jalan jenis ini sangat cocok untuk daerah terpencil yang jauh dari instalasi listrik PLN.

11. Pompa air tenaga surya

Sistem ini sangat mudah dalam pemasangan dan pembongkaran tanpa harus memikirkan kabel atau *genset*.

Teknologi Sistem PV Hybrid

Energi dari generator dan sebuah pv diesel array digunakan untuk mengisi *battery bank*. Generator dihubungkan secara seri ke inverter untuk memasok beban. Inverter mengubah tegangan DC dari *battery* dan mengubah menjadi tegangan AC yang membantu ke beban. Kapasitas *battery* disesuaikan dengan bank *batterynya* dan inverter untuk memenuhi permintaan energi listrik beban puncak. Kapasitas generator juga harus dapat memenuhi energi beban puncak. Sumber energi terbarukan, seperti energi matahari, angin atau hydropower, memberikan salah satu alternatif realistis mesin dan digunakangenerator untuk memnbangkitkan listrik. Digunakan istilah hybrid secara luas sistem energi menggambarkan sistem green energy yang berdiri sendiri, konvensional yang menggabungkan sumber energi terbarukan dengan *battery* untuk penyimpanan energi sebagai kategori pv- hybrid generator, seperti pada gambar 9.



Gambar 9. Sistem PV-Hybrid Generator

Perancangan Teknologi PV

Langkah-langkah perancangan teknologi PV adalah sebagai berikut:

1. Mencari total beban pemakaian per hari.

Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Beban Pemakaian (Wh)} = \text{Daya} \times \text{Lama Pemakaian} \quad (2)$$

2. Menentukan ukuran kapasitas modul surya yang sesuai dengan beban pemakaian.

Rumus yang digunakan adalah:

$$\text{Kapasitas Modul Surya} = \frac{\text{Total Beban Pemakaian Harian}}{\text{Insolasi Surya Harian}} \quad (3)$$

3. Menentukan kapasitas battery/aki.

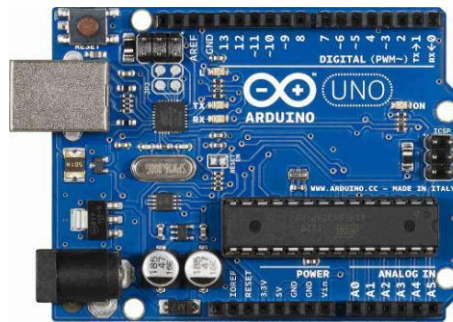
Rumus yang digunakan adalah:

$$\text{Kapasitas Baterai (Ah)} = \frac{\text{Total Kebutuhan Energi Harian}}{\text{Tegangan Sistem}} \quad (4)$$

Sistem energi hybrid adalah sistem yang menggunakan sumber energi lebih dari 1 sumber. Sistem ini menggunakan kombinasi antara perangkat teknologi konversi energi terbarukan seperti Panel Surya, dengan generator pembakaran dan penyimpanan baterai untuk menghasilkan listrik di daerah pedesaan atau daerah terpencil. Sistem seperti itu didefinisikan sebagai sistem energi hybrid dan digunakan untuk menyediakan listrik bagi pedesaan di negara-negara berkembang. Kombinasi teknologi energi terbarukan dan konvensional lebih baik dibandingkan kinerja teknis dan ekonomis dengan pasokan bahan bakar pedesaan berbasis bahan bakar fosil dan konvensional. [Wichert, et al, 1999].

Sistem Kendali

Untuk mengendalikan sistem hybrid menggunakan mikrokontroler Arduino Uno yang merupakan *board* minimum sistem *open source*. Di dalam rangkaian *board* Arduino Uno terdapat mikrokontroler AVR seri ATmega328. Perangkat ini memiliki 14 pin I/O (6 pin diantaranya dapat digunakan sebagai *output* PWM (Pulse Width Modulation), 6 pin *input* analog, koneksi USB, 16 MHz osilator kristal, dan reset. Pin-pin ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler. Pada Gambar 0. merupakan gambar Arduino Uno.



Gambar 10. Tampak Board minimum sistem Arduino Uno

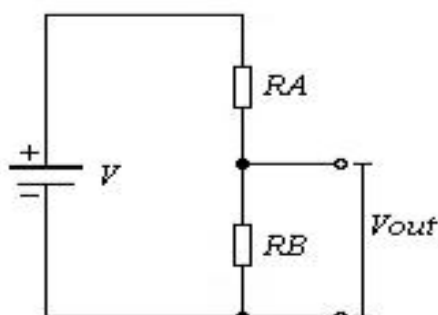
Mikrokontroler mampu mengolah data berupa bilangan digital dan sistem terdapat perangkat yang berfungsi untuk mengubah input analog menjadi besaran digital. Perangkat untuk mengonversi nilai analog menjadi digital ini disebut dengan ADC (Analog to Digital Conversion). Prinsip kerja ADC adalah mengonversi sinyal analog ke dalam bentuk besaran yang merupakan rasio perbandingan sinyal input dan tegangan referensi.

Tabel 1. Spesifikasi board arduino uno

Chip Mikrokontroler	Atmega328
Tegangan Operasi	5 Volt
Input Tegangan	7-11 Volt
Pin I/O digital	14 Pin
Pin Input Analog	6 Pin
Arus DC tiap pin I/O	50 mA
Memory flash	32 kB
SRAM	2 kB
EEPROM	1 kB

Sensor Tegangan DC

Sensor tegangan DC menggunakan prinsip rangkaian pembagi tegangan terdiri dari dua resistor yang dirangkai secara seri dan dihubungkan dengan suatu sumber tegangan. Tegangan input yang terlalu besar tidak dapat langsung masuk ke mikrokontroler, karena mikrokontroler memiliki kapasitas maksimum. Tegangan input yang besar ($> 5V$) harus di turunkan dengan cara pembagi tegangan. Tegangan output sensor diambil dari titik tengah rangkaian seri kedua resistor tersebut seperti ditunjukkan oleh gambar 11.



Keterangan :

RA = Resistor Input

RB = Resistor Ground

V = Tegangan input battery / solar panel

Vout = Tegangan output sensor

Gambar 11. Rangkaian Pembagi Tegangan

Persamaan untuk rangkaian pada gambar 11. adalah:

$$V_{Out} = \frac{K_B}{R_B + R_A} V_{input} \dots\dots\dots (5)$$

Dari persamaan (5), apabila nilai V tetap, maka perubahan nilai Vout hanya bergantung pada perubahan nilai R1 atau R2.

Analog Digital Conveter (ADC)

Piranti yang berfungsi untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital. ADC memiliki 2 karakter prinsip kerja, yaitu kecepatan sampling dan resolusi. Kecepatan sampling suatu ADC menyatakan seberapa sering sinyal analog dikonversikan ke bentuk sinyal digital pada selang waktu tertentu. Kecepatan sampling biasanya dinyatakan dalam *sample per second* (SPS). Sementara resolusi ADC menentukan ketelitian nilai hasil konversi ADC. Semakin besar resolusi ADC berarti semakin baik ketelitian yang didapat.

Mikrokontroler yang terdapat pada modul Arduino Uno memiliki resolusi ADC maksimal sebesar 10 bit dan tegangan referensi yang digunakan sebesar 5V, sehingga resolusi ADC dapat dihitung dengan rumus:

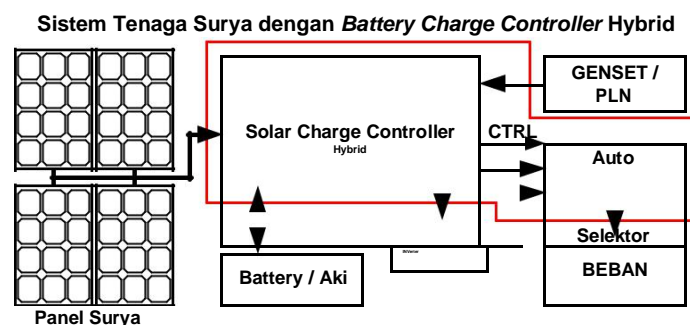
$$\text{Resolusi ADC} = \frac{V_{reff}}{\text{Nilai Diskrit Maksimal}} \dots\dots\dots (6)$$

Sedangkan nilai hasil konversi dari sinyal analog ke nilai diskrit digital dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$NK_{ADC} = \frac{V_{input}}{V_{Reffrensi}} \times \text{Jumlah Bit} \dots\dots\dots (7)$$

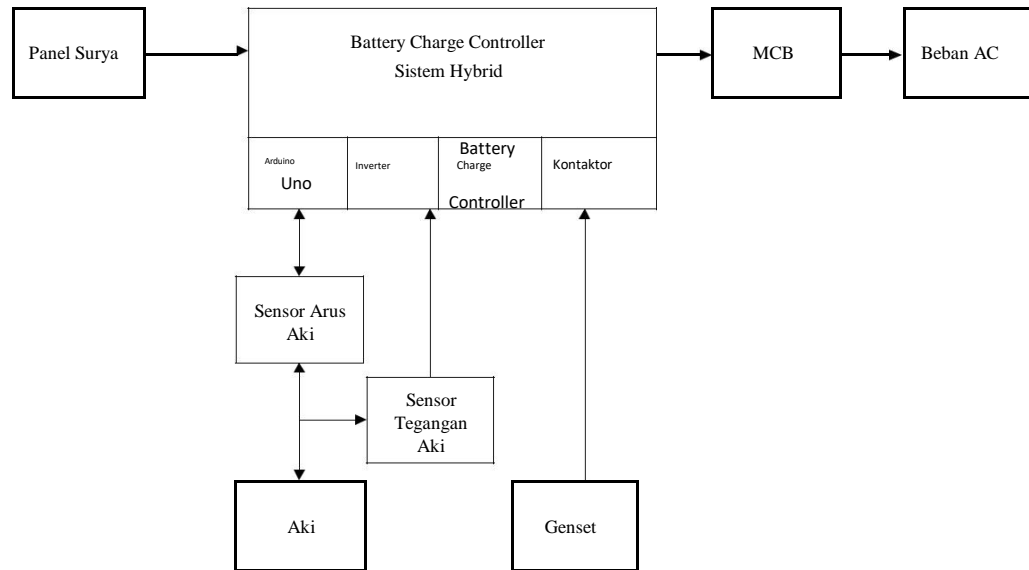
1.3 Metode Perancangan

Sistem Tenaga Surya dengan *Battery Charge Controller Hybrid* sesuai dengan dengan diagram blok gambar 12. Panel surya berfungsi pengkonversi sinar matahari menjadi tegangan listrik yang menjadi energi utama. Sistem menggunakan panel surya 400 Wp (Watt Peak), dengan arus maksimal 5A, pada tegangan kerja 12 V, pendekatan perhitungan sebagai berikut, 4 buah panel surya dirangkai secara paralel = (4 x 5A) = 20 Ampere, diasumsikan penyerapan maksimal selama 2.5 jam / hari, 20 A x 2.5 jam = 50 Ah, dengan minimum pengisian sebesar 10 % dari kapasitas battery maka, (asumsi batasan arus pengisian battery 100 Ampere, 10% x 100A = 10Ampere), 50 Ah / 10 A = 5 Jam, dari perhitungan didapatkan waktu pengisian selama 5 jam / hari.

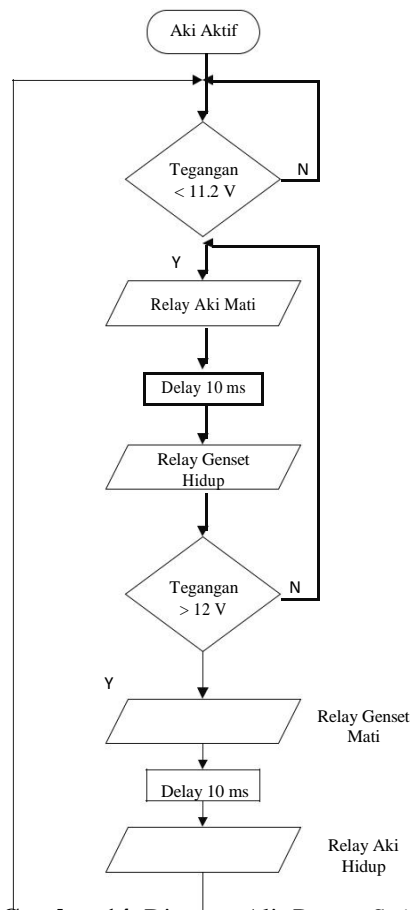


Gambar 12. Diagram Blok Sistem Tenaga Surya dengan *Battery Charge Controller Hybrid*

- Arduino Uno : berfungsi untuk mengendalikan sistem ini ; Sensor Arus : berfungsi membaca arus battery sebagai data mikrokontroler ; Sensor Tegangan : berfungsi membaca tegangan battery sebagai data mikrokontroler ; Inverter : berfungsi mengubah tegangan DC menjadi AC yang akan mensupply energi ke beban
- Battery Charge Controller* : berfungsi mengatur tegangan dan arus untuk mengisi energi pada battery ; Relay Kontaktor : berfungsi untuk menyambungkan energi listrik ke beban.



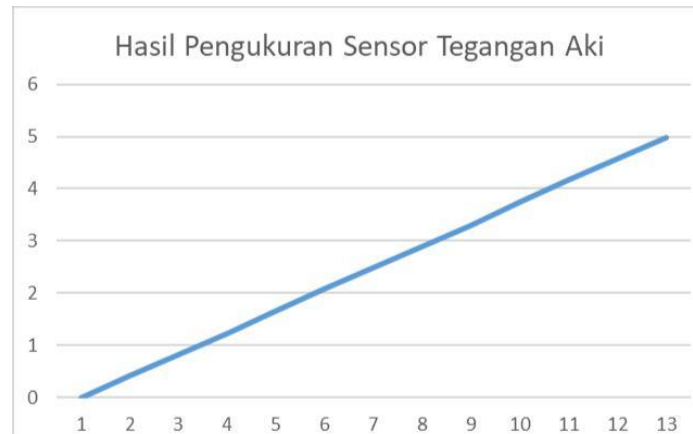
Gambar 13. Penjelasan diagram blok alat



Gambar 14. Diagram Alir Proses Switching alat

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

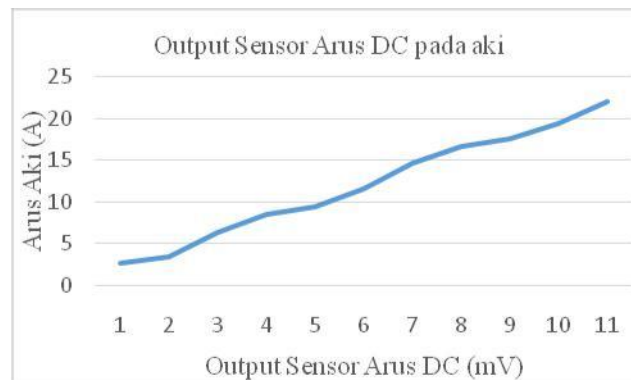
Pengujian sistem secara keseluruhan dapat berfungsi sesuai dengan rancangan, dilakukan pengukuran dan pengujian untuk membuktikannya, Pengukuran sensor tegangan digunakan untuk mengetahui nilai tegangan pada battery yang akan dibaca oleh arduino. Hasil pengukuran tampak seperti pada gambar 15. berikut ini,



Gambar 15. Hasil Pengukuran Sensor Tegangan Aki

Dari hasil pengukuran dapat dianalisa terdapat hubungan linieritas antara tegangan input dengan tegangan output pada sensor.

Sensor arus DC berfungsi untuk mengukur arus yang mengalir keluar dari battery. Hasil pengukuran seperti tampak pada gambar 16.



Gambar 16. Hasil Pengukuran Sensor Arus Aki

Hasil pengukuran dapat dianalisa , arus yang mengalir dari battery memiliki rentang 2.68-22.02 Ampere.

Arus yang mengalir memiliki hubungan linieritas dengan output sensor arus DC.

Pengujian sistem swiching beban menggunakan battery dengan kapasitas 12 V 100 Ah, serta sebuah genset untuk menggantikan listrik PLN. Pada alat ini, tegangan minimum yang dapat diberikan pada aki sebesar 11.2 V, *Battery Charge Regulator* (BCR) mengendalikan dengan tegangan minimumnya. Hasil pengujian seperti pada tabel.

Tabel 1. Proses perpindahan sistem

No	Tegangan Pada Aki	Status Kontaktor aki	Status Kontaktor Genset	Status Aki	Status Genset
1	11.2 V	OFF	ON	OFF	ON
2	12 V	ON	OFF	ON	OFF

Dari tabel 1 terlihat proses perpindahan sistem, sewaktu tegangan minimum battery 11 V. Selama proses perpindahan sistem, battery akan di-charge oleh panel surya hingga tegangan terbaca maksimum kembali. Jika

tegangan battery sudah mencapai tegangan maksimum, maka proses akan kembali berpindah dari genset menuju jalur battery sebagai tegangan *supply*.

3. KESIMPULAN

Dari perancangan, pengukuran dan pengujian, dapat disimpulkan, secara umum alat berfungsi sesuai dengan perancangan dengan parameter spesifikasi sistem sensor tegangan battery, memiliki input tegangan dengan rentang 0-12 V dan mengeluarkan tegangan output linier 0-4.98V; Sensor Arus DC (Hambatan Shunt) menghasilkan tegangan drop dengan rentang 1.8-15.9 mV linier dengan input kenaikan arus pada battery dengan rentang arus dari 2.68-22.02 A. Proses perpindahan sistem terjadi jika tegangan battery dibawah 11.2V, jalur genset akan aktif dan battery akan tercharge oleh energi dari panel surya.

PUSTAKA

- Andrew (2015), "Perancangan Sistem Elektrik tenaga hybrid untuk pemfilteran air tanah", Prosiding Seminar Nasional Energi Telekomunikasi dan Otomasi SNETO 2015, Institut Teknologi Nasional (ITENAS) Bandung
- Angelina Evelyn T, Andrew Joewono, "Sumber Energi Listrik dengan Sistem Hybrid (Solar Panel dan Jaringan Listrik PLN)", Jurnal Widya Teknik, Volume 10, No.1, April 2011
- DESDM (2007), PLN Targetkan Pemakaian Energi Listrik Terbarukan 10 %, Jakarta. diakses tanggal : 13/01/2009 21:09 dari DESDM (2007). <http://www.esdm.go.id/berita/listrik/39-listrik/129-pln-targetkan-pemakaian-energi-listrik-terbarukan-10.html>
- Hasnawiya Hasan, "PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI PULAU SAUGI", Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK) Volume 10, Nomor 2, Juli - Desember 2012
- LEMIGAS, 2012, <http://www.lemigas.esdm.go.id/id/prdkpenelitian-264-.html> diakses 9 April 2013.
- Nipon Ketjoy, 2005, *Disertation, PVsystem Hybrid generator, A thesis submitted in partial fulfilment for the degree of Doctor of Engineering (Dr.-Ing)*, in the specialized area of Renewable Energy Technology at the Faculty of Electrical Engineering/Information Technology, University of Kassel.
- Rahman, shusmita, dkk. 2012. *Design of a Charge Controller Circuit with Maximum Power Point Tracker (MPPT) for Photovoltaic System*. BRAC University

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada LPPM Unika Widya Mandala Surabaya, atas dukungan pendanaan melalui kegiatan penelitian Jurusan Teknik Elektro-Fakultas Teknik;

Kepada Tim Peneliti dosen dan mahasiswa (Sdr. Andrian Tantaman, Sdr. Fian Agustino W, Sdr. Laurentius Nico W, Sdri. Dewi), atas dukungan support dan pembuatan peralatan dalam menciptakan iklim akademik atmosfir untuk kegiatan penelitian bersama (dosen dan mahasiwa)

FOTO ALAT



RANCANG BANGUN SISTEM HIDROPONIK OTOMATIS

Andrew Pranata¹, Melisa Mulyadi², Harlianto Tanudjaja³, Sandra Octaviani⁴, Yashinta Ratna⁵

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik

⁵ Program Studi Bioteknologi Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya Jakarta

Jalan Jendral Sudirman 51, Jakarta

E-mail: Andrewpranata26@gmail.com, melisa.mulyadi@atmajaya.ac.id, harlianto.tj@atmajaya.ac.id

ABSTRAK

Pengurangan polusi udara di perkotaan memerlukan penghijauan tetapi faktanya masyarakat perkotaan terlalu sibuk untuk mengurus tanaman penghijauan yang mereka tanam. Mengatasi hal ini diperlukan proses penanaman yang mudah dan tidak merepotkan, salah satunya adalah penanaman secara hidroponik. Pada makalah ini dibahas pembuatan alat yang dapat menanam tanaman secara hidroponik menggunakan metode Nutrient Film Technique (NFT). Alat ini menggunakan mikrokontroler Arduino Mega sebagai pengendali keseluruhan proses. Data masukan ke mikrokontroler berasal dari sensor suhu DS18B20, sensor pH, dan sensor Electrical Conductivity (EC), Real Time Clock (RTC) DS1307, dan keypad matrix untuk memasukkan nilai set point pH, nilai set point EC, set point suhu, dan waktu pengurasan sistem. Keluaran dari mikrokontroler mengatur chiller, pompa untuk cairan pH up, pompa untuk cairan pH down, pompa untuk larutan nutrisi mikro, pompa untuk larutan nutrisi makro, lampu grow light, dan liquid-crystal display (LCD). Hasil yang diperoleh dari pengujian memperlihatkan bahwa alat hidroponik otomatis dapat mengatur suhu air, nilai pH, nilai EC, sesuai dengan dengan rancangan.

Kata Kunci: Nutrient Film Technique, Mikrokontroler, Electrical Conductivity, Real Time Clock, Chiller

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kehidupan di kota besar seperti Jakarta yang penduduknya terus bertambah membuat terjadinya keterbatasan lahan sehingga ruang terbuka hijau yang tersedia semakin berkurang. Tingginya tingkat polusi udara akibat kendaraan bermotor juga tidak dapat dihindari. Dampak polusi udara tidak baik bagi kesehatan sehingga untuk mengurangi pencemaran udara ini diperlukan penghijauan. Ketersediaan lahan yang terbatas harus dapat dikelola secara optimal dan efisien untuk mengusahakan penghijauan. Pola berkebun dengan hidroponik memberi solusi bagi penduduk yang tinggal di perkotaan karena hidroponik adalah cara menanam dengan media air yang merupakan media alternatif pengganti tanah.

Hidroponik yang biasa dilakukan masyarakat masih bersifat manual dan memerlukan tenaga manusia untuk memantau derajat keasaman (pH) dalam air, suhu air, volume air, nutrisi tanaman dan cahaya. Cara seperti ini tentunya merepotkan sehingga diperlukan sistem otomasi hidroponik. Kondisi air baik keasaman, suhu, volume air, cahaya dan nutrisi tanaman dideteksi menggunakan sensor-sensor yang terhubung ke mikrokontroler arduino. Mikrokontroler ini akan mengatur kerja pompa dan chiller berdasarkan informasi yang diterima. Pompa air digunakan agar air yang berisi nutrisi dapat bergerak dan bersirkulasi secara kontinu sedangkan chiller diperlukan untuk menurunkan suhu air. Solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut dapat dilakukan dengan membuat sistem pemberian pupuk secara otomatis pada tanaman. Sistem pemberian pupuk secara otomatis merupakan sistem untuk membantu pemilik tanaman dalam memantau dan memberi pupuk pada tanaman sehingga tidak diperlukan pemberian pupuk secara manual

1.2 Tujuan

Tujuan yang dicapai adalah merancang dan merealisasikan sebuah sistem hidroponik otomatis yang dapat dipantau dan dikendalikan. Informasi yang diberikan berupa meningkatnya nilai pH dan perlunya pengisian ulang pupuk

1.3 Metodologi Penelitian

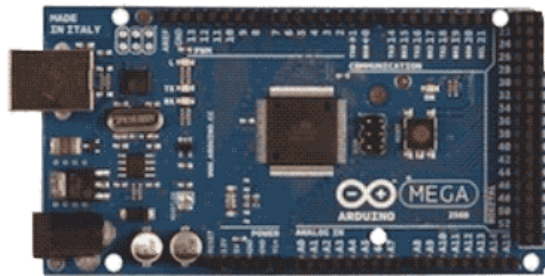
Metode pelaksanaan dalam kegiatan membuat rancang bangun sistem hidroponik otomatis meliputi penelusuran pustaka mengenai sistem hidroponik Nutrient Film Technique (NFT), estimasi kecukupan nutrisi, cahaya, pH seimbang, suhu yang sesuai agar tanaman dapat bertumbuh dengan cepat. Pengambilan dan akuisisi data melalui sensor-sensor kemudian melakukan pengolahan data menggunakan mikrokontroler sehingga menghasilkan sistem pengendalian yang sesuai untuk sistem hidroponik.

1.4 Tinjauan Pustaka

A. Arduino Mega 2560

Komponen utama di dalam papan Arduino Mega 2560 adalah sebuah mikrokontroler 8-bit menggunakan ATmega 2560. Arduino Mega 2560 diperlihatkan pada Gambar 1. Beberapa spesifikasi Arduino Mega 2560 yaitu [9]:

1. Memiliki 54 *pin* masukan/keluaran digital (14 *pin* dapat digunakan sebagai keluaran PWM) dan 16 *pin* masukan analog. Ada 21 *pin* masukan/keluaran digital digunakan untuk tombol tekan, *matrix keypad*, *real-time clock* DS 1307, *buzzer*, *liquid-crystal display*, dan 3 *pin* masukan analog digunakan untuk *accelerometer* ADXL 335.
2. Memiliki 8 KB RAM pada memori kerja bersifat *volatile* (hilang saat daya dimatikan), digunakan oleh variabel-variabel di dalam program.
3. Memiliki 128 KB RAM *flash memory* bersifat *non-volatile*, digunakan untuk menyimpan program dan *bootloader* yang dimuat dari komputer.
4. Memiliki 4 KB EEPROM bersifat *non-volatile*, digunakan untuk menyimpan data yang tidak boleh hilang saat daya dimatikan.
5. *Central Processing Unit* (CPU), bagian mikrokontroler untuk menjalankan setiap instruksi dari program.



Gambar 1. Arduino Mega 2560

B. Sensor Cahaya

Sensor cahaya yang digunakan dalam sistem adalah *Light Dependent Resistor* (LDR). LDR adalah jenis resistor yang nilai hambatan atau nilai resistansinya tergantung pada intensitas cahaya yang diterimanya. Nilai Hambatan LDR akan menurun pada saat cahaya terang dan nilai hambatannya akan menjadi tinggi jika dalam kondisi gelap. Dengan kata lain, fungsi LDR adalah untuk menghantarkan arus listrik jika menerima sejumlah intensitas cahaya/kondisi terang dan menghambat arus listrik dalam kondisi gelap. Pada umumnya, nilai hambatan LDR akan mencapai 200 k Ω pada kondisi gelap dan menurun menjadi 500 Ω pada kondisi terang. Bentuk dari LDR sendiri dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Light Dependent Resistor*

C. pH Meter

Sensor pH adalah sebuah sensor yang dapat mengukur derajat keasaman suatu larutan dengan cara mengukur beda potensial yang terjadi pada *probe* pH meter setelah direndam dalam larutan yang ingin diukur [7]. Pada Gambar 3 dapat dilihat *probe* dan modul dari sensor pH.



Gambar 3. Sensor pH

D. Sensor EC (Electrical Conductivity)

Sensor *Electrical Conductivity* (EC) adalah sensor yang menghitung besarnya muatan dari suatu larutan. Sensor EC menggunakan suatu *probe* seperti pada Gambar 4 yang tugasnya mengalirkan aliran listrik dengan besar tergantung dari seberapa banyak ion yang terkandung dalam larutan tersebut.



Gambar 4. Peristiwa Pelebaran Pulsa Akibat Dispersi

E. Arduino Integrated Development Environment

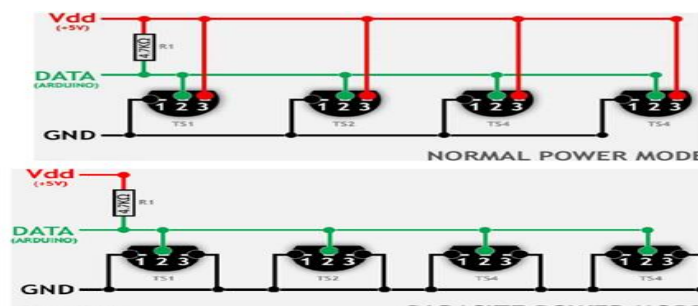
Arduino *Integrated Development Environment* (IDE) adalah sebuah program yang dapat digunakan sebagai kompiler berbasis bahasa C dan dirancang untuk memudahkan dalam memprogram sistem minimum Arduino [1]. Arduino IDE memiliki fasilitas untuk memprogram, menulis ulang kode, area pesan untuk mengetahui letak kesalahan pada program, uji coba program melalui terminal serial, kompilasi, dan melakukan *upload* program hasil dari kompilasi.

Arduino IDE sudah dilengkapi dengan berbagai *library* dasar, tetapi dimungkinkan untuk menambah *library* secara manual. Pada IDE terdapat beberapa program dasar yang dapat digunakan sebagai contoh bagi pemula untuk mulai memahami bahasa pemrograman dan belajar menggunakan Arduino.

F. Sensor Suhu DS18B20

DS18B20 merupakan sensor suhu yang dapat digunakan dalam 9 sampai 12 bit Celcius. Sensor ini berkomunikasi dengan menggunakan bus yang bernama 1-Wire dimana bus ini hanya membutuhkan sebuah jaringan data (dan *ground*) untuk berkomunikasi dengan mikroprosesor pusat. DS18B20 juga memiliki kelebihan untuk mengambil daya dari jaringan data (dalam mode parasit), untuk mengurangi penggunaan sumber daya eksternal. Perbandingan mode normal dengan mode parasit dapat dilihat pada Gambar 5.

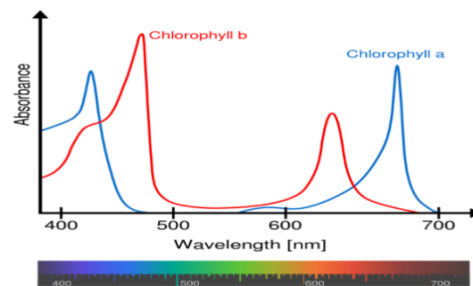
Setiap DS18B20 memiliki kode serial 64-bit yang unik, sehingga memungkinkan penggunaan beberapa DS18B20 secara langsung dengan menggunakan bus 1-Wire yang sama. Sehingga pengguna dapat menggunakan 1 mikroprosesor untuk mengatur beberapa DS18B20 dengan area yang luas. Keuntungan tersebut menjadikan sensor ini dapat berguna untuk pengontrolan lingkungan HVAC, memonitor sistem dalam gedung, untuk alat-alat berat, dan untuk proses kontrol dari suatu sistem.



Gambar 5 Perbandingan rangkaian pada mode normal dengan mode parasit pada DS18B20

G. Grow Light

Lampu *grow light* adalah lampu dengan campuran LED beberapa warna yang memiliki fungsi untuk mempercepat proses fotosintesis agar tanaman dapat tumbuh dengan optimal. Warna-warna yang digunakan adalah campuran dari warna merah dan biru dengan frekuensi tertentu. Warna merah dan biru digunakan karena warna tersebut merupakan warna yang dibutuhkan oleh tanaman saat melakukan fotosintesis seperti ditunjukkan oleh Gambar 6. Dapat dilihat dari grafik tersebut bahwa klorofil a dan klorofil b paling optimal menyerap cahaya pada cahaya dengan panjang gelombang 450 nm dan 650 nm.



Gambar 6 Penyerapan cahaya oleh klorofil a dan klorofil b terhadap panjang gelombang cahaya

F. *Nutrient Film Technique* (NFT).

[Hidroponik sistem NFT](#) ini adalah suatu metode budi daya tanaman dengan akar tanaman tumbuh pada lapisan [nutrisi hidroponik](#) yang dangkal dan tersirkulasi sehingga tanaman dapat memperoleh cukup air, nutrisi dan oksigen. Tanaman tumbuh dengan akar tanaman terendam dalam air yang berisi larutan nutrisi yang disirkulasikan secara terus menerus dengan pompa. Daerah perakaran dalam larutan nutrisi dapat berkembang dan tumbuh dalam larutan nutrisi yang dangkal sehingga bagian atas akar tanaman berada di permukaan antara larutan nutrisi dan netpot, adanya bagian akar dalam udara ini memungkinkan oksigen masih bisa terpenuhi dan mencukupi untuk pertumbuhan secara normal.

G. Nutrisi Makro dan Mikro

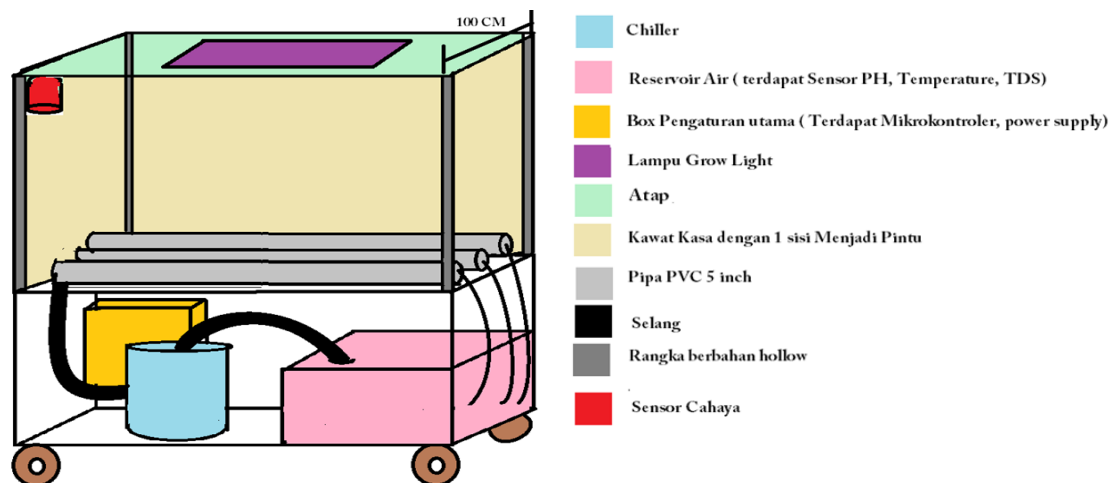
Secara garis besar, tanaman atau tumbuhan memerlukan 2 (dua) jenis unsur hara untuk menunjang pertumbuhan dan perkembangan yang optimal. Dua jenis unsur hara tersebut disebut unsur hara makro dan unsur hara mikro [6].

Unsur hara makro adalah unsur-unsur hara yang dibutuhkan tumbuhan dalam jumlah yang relatif besar dan terdiri dari N (Nitrogen), P (Fosfor), K (Kalium), Mg (Magnesium), Ca (Kalsium), S (Sulfur).

Unsur hara mikro adalah unsur yang diperlukan tanaman dalam jumlah sedikit. Walaupun hanya diserap dalam jumlah kecil, tetapi amat penting untuk menunjang keberhasilan proses-proses dalam tumbuhan. Unsur mikro itu, adalah: boron, besi, tembaga, mangan, seng, dan molibdenum.

2. PEMBAHASAN

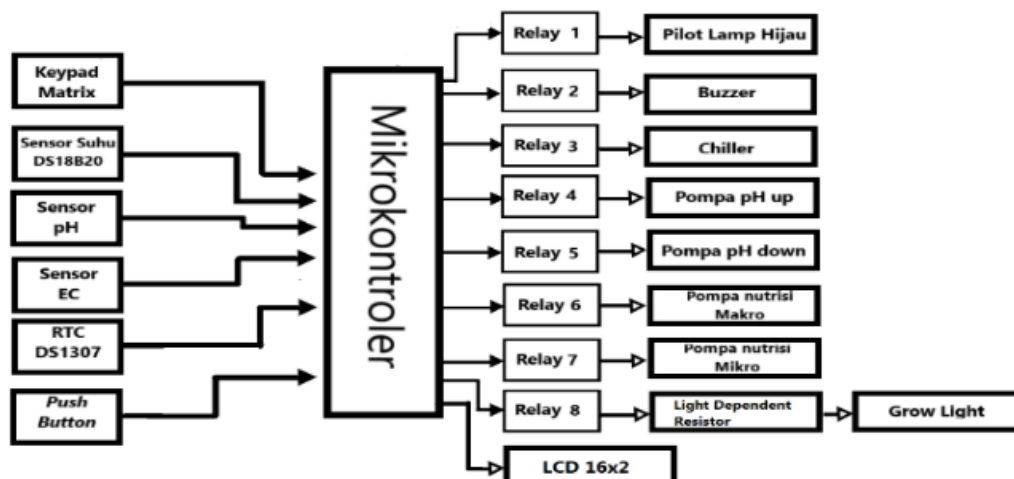
Sistem hidroponik yang dibuat menggunakan bibit tanaman yang sudah disemai terlebih dahulu. Sistem hidroponik yang digunakan adalah NFT (*Nutrient Film Technique*) yaitu tanaman dialiri aliran air nutrisi sehingga mengenai sebagian dari akar tanaman. Proses perawatan tanaman dapat dilakukan secara manual atau otomatis sesuai pilihan melalui penekanan pada tombol *keypad*. Jika pengguna memilih mode otomatis maka pengguna dapat memilih jenis tanaman yang akan ditanam berdasarkan pilihan yang ditampilkan sistem. Selanjutnya sistem akan mengatur secara otomatis merawat tanaman dengan memeriksa kebutuhan nutrisi, kecukupan cahaya dan kesesuaian suhu dari jenis tanaman tersebut. Bila pengguna ingin merawat tanaman secara manual maka pengguna harus memasukkan ke sistem batasan nilai suhu, derajat keasaman air dan jumlah nutrisi yang dibutuhkan tanaman tersebut. Setelah itu sistem akan mengendalikan sistem agar bekerja sesuai dengan nilai yang dimasukkan. Secara periodik 2 minggu, air di reservoir harus diganti secara manual yang diinformasikan kepada pengguna dengan bunyi *buzzer* dan nyala lampu indikator. Tata letak sensor dan perangkat elektronik sistem diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Tata letak sensor dan perangkat elektronik system

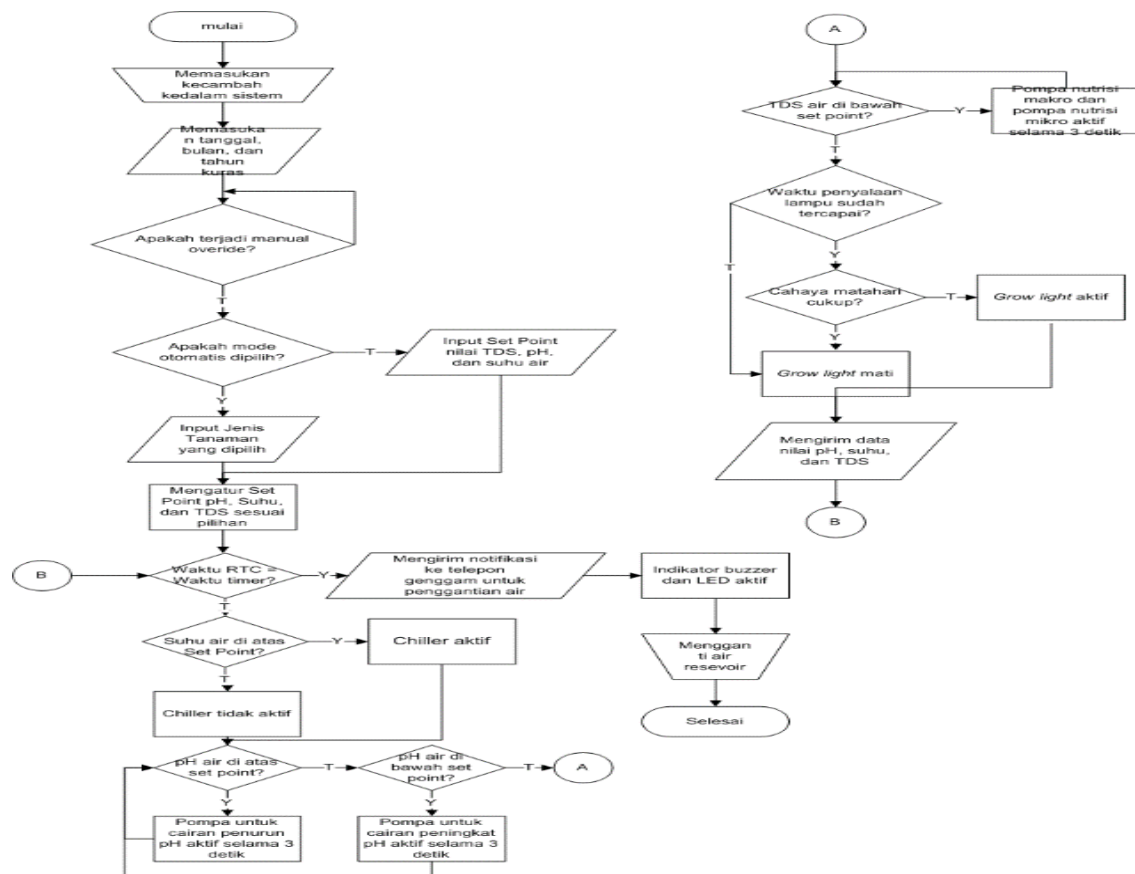
Diagram blok dari sistem dapat dilihat pada Gambar 8. Sebagai pengendali digunakan mikrokontroler yang mendapat masukan dari *keypad matrix*, sensor suhu, sensor PH, sensor EC dan sensor cahaya. Hasil pengukuran dari sensor EC akan digunakan untuk menghitung TDS (*Total Dissolve Solid*). *Keypad matrix* merupakan kumpulan tombol untuk memilih program manual atau otomatis dan memasukkan batasan nilai parameter suhu, PH, TDS dan cahaya yang dibutuhkan tumbuhan jika sistem dipilih manual.

Semua informasi yang diterima mikrokontroler dari sensor-sensor akan diolah untuk menentukan tindakan yang akan dilakukan yaitu mengaktifkan pompa *wiper*, lampu *grow light*, pendingin air dan menampilkan hasil pengukuran sensor serta kondisi yang terjadi pada *Liquid Crystal Display* (LCD). Pompa *wiper* yang digunakan sebanyak 4 buah yang masing-masing digunakan untuk larutan makro, larutan mikro, larutan pH *up*, dan larutan pH *down*. Lampu yang digunakan adalah lampu LED dengan frekuensi 450nm dan 650nm dengan daya 3 watt/LED. Pendingin air digunakan untuk mendinginkan air yang ada di resevoir dan akan aktif jika suhu air berada diatas batas suhu yang telah ditentukan.



Gambar 8. Diagram blok sistem

Pembuatan perangkat lunak sistem pada mikrokontroler Arduino Mega menggunakan Arduino IDE dan bahasa C. Diagram alir perangkat lunak mikrokontroler Arduino Mega diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram alir perangkat lunak mikrokontroler Arduino Mega

Pengujian keseluruhan sistem dimulai pada saat pengguna mengaktifkan sistem. LCD akan menampilkan tampilan awal dan menunggu pengguna untuk menekan tombol *push button*. Setelah tombol ditekan maka pengguna diminta untuk memasukkan tanggal, bulan, dan tahun pengurusan tanaman. Setelah itu pengguna akan diberikan pilihan mode pada LCD, yaitu mode otomatis atau mode manual. Pengguna dapat memasukkan pilihannya melalui *keypad matrix*. Pada mode manual, pengguna menentukan suhu, *set point* pH dan EC. Apabila pengguna memilih mode otomatis maka ditawarkan 4 pilihan tanaman, yaitu kangkung, bayam, pakchoi, dan caisim. Setelah memasukkan suhu, nilai pH, dan nilai EC, proses penanaman tanaman akan dimulai yang ditandai dengan menyala LED hijau. Setelah itu, sistem akan berjalan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Sistem Memeriksa apakah waktu dari RTC sudah sama dengan waktu kuras.
- Sistem memeriksa apakah nilai pH sudah sama dengan *set point*.
- Jika nilai pH masih dibawah nilai *set point* maka relay akan memicu pompa untuk cairan pH up dan akan menyala selama 3 detik.
- Jika nilai pH masih diatas nilai *set point* maka relay akan memicu pompa untuk cairan pH down dan akan menyala selama 3 detik.
- Sistem memeriksa apakah nilai EC sudah sama dengan *set point*.
- Jika nilai EC masih dibawah nilai *set point* maka relay akan memicu pompa untuk cairan nutrisi makro dan pompa untuk cairan nutrisi mikro dan akan menyala selama 3 detik.
- Sistem memeriksa apakah suhu air telah mencapai *set point*.
- Jika nilai suhu air masih diatas nilai *set point* maka relay akan memicu *chiller* untuk aktif.
- Jika nilai suhu air sudah dibawah *set point* maka relay tidak aktif sehingga *chiller* akan mati.
- Sensor cahaya pada lampu akan memeriksa apakah cahaya matahari cukup untuk lampu
- Jika cahaya matahari tidak cukup maka relay akan menyalakan lampu tetapi, jika cahaya matahari cukup maka lampu tidak akan menyala.

Pengujian pada modul pH meter dilakukan untuk memastikan modul bekerja dengan baik. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil keluaran sensor pH yang digunakan dalam sistem dengan sensor pH konvensional.

Tabel 1. Pengujian pembacaan pH melalui sensor pH dalam sistem dan melalui sensor pH konvensional.

pH		Δ pH	E (Kesalahan) %
Sensor pH dalam sistem (H1)	Sensor pH konvensional (H2)		
3.2	3.5	0.3	8.57
4.5	4.6	0.1	2.17
5.3	5.5	0.2	3.64
6.2	7.0	0.8	11.43
7.0	6.8	0.2	2.94
8.6	8.2	0.4	4.88
9.2	9.6	0.5	5.21
11.5	10.8	0.7	6.48
12.1	12.5	0.4	3.2
12.8	13.2	0.4	3.03
kesalahan rata-rata			5.15

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa adanya perbedaan pada hasil pembacaan suhu melalui modul dan sensor konvensional. Nilai kesalahan rata-rata dari pengujian tersebut sebesar 5.15%.

Pengujian Pompa Cairan Nutrisi, Cairan pH *Up*, dan Cairan pH *Down*. Pengujian ini dilakukan untuk volume cairan yang dikeluarkan setiap waktu. Pengukuran volume menggunakan gelas ukur dengan ketelitian 1 mililiter. Hasil pengujian volume cairan pada Tabel 2. pengujian pompa menunjukkan bahwa pompa memiliki debit rata-rata 39.07 ml/detik.

Tabel 2. Hasil pengujian volume cairan

Waktu (detik)	Vol- pH up (ml)	Vol- pH down (ml)	Vol- nutrisi Makro (ml)	Vol- nutrisi Mikro (ml)
1	41	43	39	37
2	68	68	70	71
3	123	124	121	123
4	163	162	163	163
5	198	195	194	195

Hasil pengujian pada Tabel 3 pengujian *chiller* di setting pada suhu 18°C, Pada menit 20 keatas suhu akan konstan pada 18 °C. Dan rata-rata pendinginan air oleh *chiller* adalah 0.46 °C/menit.

Tabel 3. Hasil pengujian elemen pendingin *chiller*

Waktu (menit)	Suhu air (°C)
0	27.42
4	23.25
8	22.00
12	21.06
15	20.12
17	19.07
20	18.13
22	18.05

Tabel 4. Pengujian pembacaan EC melalui sensor EC dalam sistem dan melalui sensor EC konvensional.

EC		Δ EC	E (Kesalahan) %
Sensor EC dalam sistem (EC1)	Sensor konvensional (EC2)		
0.2	0.1	0.1	50
0.8	0.7	0.1	14.28
1.2	1.1	0.1	9.09
1.5	1.3	0.2	15.38
2.3	1.7	0.6	35.29
3.3	2.9	0.4	13.79
4.6	4.5	0.1	2.22
5.3	5.0	0.3	6
6.8	6.3	0.5	7.9
7.2	7.1	0.1	1.4
kesalahan rata-rata			28

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan EC konvensional dan alat modul yang dirancang, yang kemudian ditampilkan pada monitor komputer dengan hasil pembacaan sensor EC konvensional. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4. Dari Tabel dapat dilihat bahwa adanya perbedaan pada hasil pembacaan suhu melalui modul dan sensor konvensional. Nilai kesalahan rata-rata dari pengujian tersebut sebesar 28%.

3. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan, realisasi, dan pengujian dari alat hidroponik otomatis dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

1. Sistem hidroponik otomatis yang dirancang dapat beroperasi sesuai dengan perancangan.
2. Ketelitian pembacaan sensor pH dengan nilai kesalahan sebesar 5.15%.
3. Ketelitian pembacaan sensor EC dengan nilai kesalahan sebesar 28%.

Saran pengembangan berikutnya, algoritma system modul ini akan diterapkan metode kontroller berbasis PID dan diintegrasikan dengan system *wireless sensor network*, membentuk sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memonitor proses otomasi secara jarak jauh.

PUSTAKA

- Andrianto, H. 2008. *Pemrograman Mikrokontroler AVR ATmega16 Menggunakan Bahasa C (Codevision AVR)*. Indonesia: Informatika
- Bayle, J. 2013. *C Programming for Arduino*. Birmingham: Packt Publishing
- Dargie, Waltenegus dan Poellabauer, Christian. 2010. *Fundamental of Wireless Sensor Networks*. United Kingdom : Wiley & Sons.
- Shivappa, V. 2016. *How do pH Probes Work*, (<https://www.quora.com/How-do-pH-probes-work>, diakses tanggal 23 Februari 2017).
- Sigit, R. 2007. *Robotika, Sensor & Aktuator*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sunarjono, H. 2011. *Bertanam 30 Jenis Sayur*. Depok: Penebar Swadaya.
- Wilson, J.S. 2004. *Sensor Technology Handbook*. Amerika Serikat: Newnes.

MONITOR sisa CAIRAN INFUS INTRAVENA DENGAN PENIMBANGAN BERAT

Hartono Pranjoto¹, Lanny Agustine², Yesiana D. W. Werdani³, Diana Lestariningsih⁴, B. Brian Teja Pahar⁵

^{1,2,4,5} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
Jalan Kalijudan 37, Surabaya 60114
Telp. (031) 389-1264

³Fakultas Keperawatan, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
Jl. Kalisari Selatan 1, Pakuwon City, Surabaya
E-mail: pranjoto@ukwms.ac.id

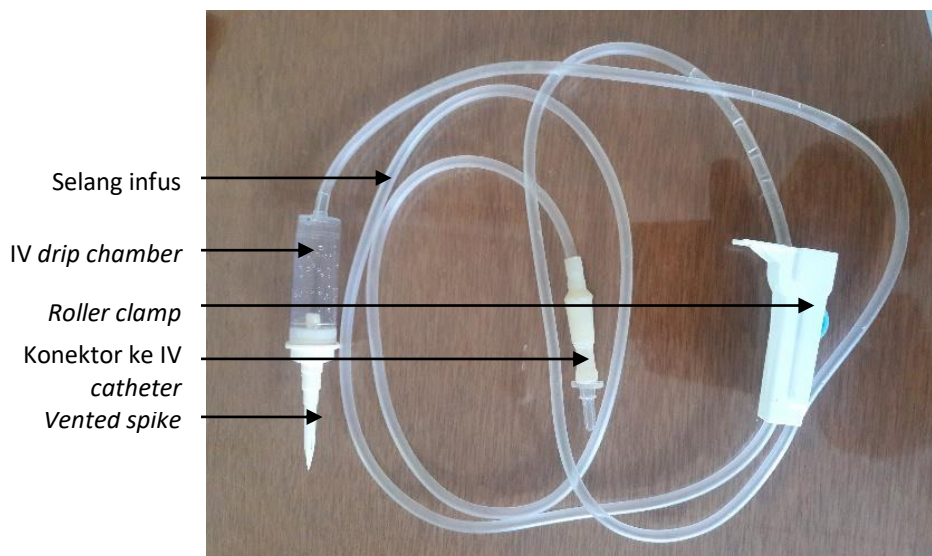
ABSTRAK

Volume cairan infus selalu tertera pada label kemasannya, dan memonitor jumlah cairan infus tersisa akan memberikan data jumlah cairan infus yang telah masuk ke dalam tubuh pasien. Seorang perawat yang menangani pasien membutuhkan informasi ini untuk laporan jumlah cairan yang telah masuk kedalam tubuh pasien secara akurat. Makalah ini menjelaskan suatu inovasi untuk memonitor jumlah cairan yang telah masuk dengan monitor berat cairan yang tersisa, karena jumlah cairan yang masuk berbanding lurus dengan berat yang telah masuk, dan ini adalah selisih dari jumlah total cairan dengan cairan yang masih tersisa. Alat ini akan menimbang kemasan cairan infus beserta isinya secara terus-menerus selama proses terapi intravena dengan menggunakan loadcell, analog-to-digital converter HX711, mikrokontroler berbasis Arduino, dan tayangan akhir lewat LCD (liquid crystal display).

Kata Kunci: ARDUINO, HX711, load cell, monitor, cairan infus, intravena

1. PENDAHULUAN

Seorang pasien yang sedang dalam proses penyembuhan, sering membutuhkan perawatan medikasi intravena. Pilihan medikasi intravena adalah dengan menggunakan pompa infus (*Infusion pump*) atau dengan menggunakan *gravity drip IV delivery*. Cara kedua ini sudah digunakan sejak tahun 1944 dan masih digunakan sampai saat ini. Cara medikasi intravena dengan *gravity drip IV delivery* adalah dengan perangkat *infusion set* seperti yang terlihat pada Gambar 1. Pada perangkat ini terdapat empat komponen penting yaitu *vented spike* dengan *IV drip chamber* dimana jumlah tetesan cairan infus dapat dimonitor secara visual, konektor untuk dihubungkan ke *IV catheter*, *roller clamp* untuk mengatur laju cairan infus dan selang infus sepanjang 150cm.



Gambar 1. Gravity drip infusion set yang terdiri dari (dari kiri ke kanan) vented spike dengan IV drip chamber, konektor, roller clamp dan selang infus sepanjang 150 cm

Pada sistem drip/ tetes ini, cairan infus akan menetes dari keluaran *vented spike* pada *IV drip chamber* secara perlahan-lahan, tergantung pengaturan posisi *roller clamp*. Volume tetesan cairan berdasarkan spesifikasi yang tertera pada kemasan set infus adalah 20 tetes/ ml sehingga penghitungan jumlah tetesan dapat digunakan untuk memantau volume cairan yang telah masuk kedalam tubuh pasien. Monitor jumlah cairan yang masuk juga

dilakukan secara visual dengan memantau volume yang masih tersisa pada tabung cairan infus XXX secara visual. Selain cara visual, beberapa peneliti juga melakukannya dengan menggunakan berbagai metode lain seperti memanfaatkan gelombang elektromagnetik atau gelombang radio.

Pada penelitian ini dilakukan pemantauan jumlah cairan yang sudah keluar dari tabung infus dengan cara menimbang berat cairan yang masih belum masuk ke dalam tubuh pasien beserta dengan berat botol/ tabung infus. Berat botol/ tabung infus tidak mungkin berkurang, maka pengurangan berat yang terukur hanya disebabkan oleh berkurangnya cairan infus. Percobaan yang dilakukan untuk pengujian alat menggunakan simulasi, maka jumlah cairan yang keluar dari set infus diukur dengan menggunakan gelas ukur (*graduated cylinder*).

2. PEMBAHASAN

Pada penelitian awal dilakukan beberapa eksperimen untuk memantau jumlah cairan yang seharusnya masuk ke dalam tubuh pasien. Penelitian ini menggunakan botol dan cairan infus sebenarnya dan belum digunakan. Percobaan ini bertujuan untuk menguji kelayakan apparatus. Dan sampai saat ini percobaan tidak menggunakan pasien ataupun binatang, sehingga tidak membutuhkan '*ethical clearance*'.

Komponen utama/ mayoritas dari cairan infus adalah air dengan jumlah volume yang berbeda, biasanya adalah 100 ml sampai dengan 500 ml dengan tambahan komponen kimia lain dengan jumlah berat bervariasi dari 2 gram hingga 50 gram untuk tabung infus 500ml. Dengan volume cairan 500 ml dan dengan berat jenis 0.9970480 gram/ml pada suhu 25°C, maka total berat cairan infus dapat dihitung dengan menggunakan rumus fisika. Volume cairan yang tersisa dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang sama.

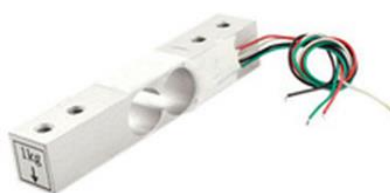
Berat tabung infus – berapapun beratnya – tidak akan berpengaruh pada penghitungan volume infus yang berkurang ataupun pengukuran berat cairan infus yang berkurang. Hal ini terjadi karena berat tabung infus dan set infus selalu konstan, dan dalam penghitungan selisih berat maka akan saling meniadakan. Tahap awal penggunaan alat sebelum cairan infus dialirkan, berat total semua komponen infus (tabung infus, cairan infus dan *infusion set*) ditimbang dengan alat yang dibuat, dan nilai terukur akan digunakan sebagai pengurang dalam perhitungan berat terukur. Sehingga akan tampil berat 0 gram saat cairan infus belum dialirkan. Dengan berjalannya waktu, maka cairan infus akan berkurang, dan dengan sendirinya berat total semua komponen infus juga akan berkurang. Dengan metode pengurangan berat ini, maka alat dapat menampilkan berat karena jumlah cairan infus yang berkurang. Dari hasil pengurangan berat ini dan dengan adanya data tentang berat jenis cairan, maka volume cairan dapat dihitung secara matematis.

2.1 Sensor Pengukur Berat

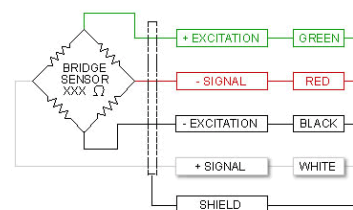
Pengukuran berat cairan infus menggunakan seperangkat *strain gauge* yang ditempelkan pada sebuah *loadcell*. Pada dasarnya *loadcell* terdiri dari *strain gauge* yang dihubungkan dengan konfigurasi jembatan Wheatstone (*Wheatstone Bridge*) dan dapat difungsikan untuk mengukur berat. Sebuah *strain gauge* adalah stress/ regangan pada suatu obyek dengan adanya perubahan tahanan pada satu arah seperti yang terlihat pada Gambar 2. *Strain gauge* dipasang pada sebuah obyek dengan menggunakan perekat, sehingga saat obyek tersebut mengalami perubahan panjang, maka tahanan *strain gauge* akan ikut berubah. Bentuk obyek dimana *strain gauge* tersebut tertempel dapat berupa sebuah *loadcell* seperti terlihat pada Gambar 2b. Dengan adanya pemanjangan atau pemendekkan pada sumbu horisontal pada *loadcell*, maka tahanan listrik *strain gauge* juga akan berubah. Deformasi panjang *Loadcell* pada Gambar 2b dapat menghasilkan perubahan tahanan *strain gauge* jika diberi beban dengan berat maksimum 1 kg. Pada gambar tersebut, *strain gauge* sudah terbungkus oleh perekat yang menempel pada *loadcell* dengan empat buah kabel berbeda warna. Warna ke-empat kabel tersebut dan hubungannya dengan jembatan Wheatstone dapat dilihat pada Gambar 2c.



Gambar 2a. Foto sebuah *strain gauge*



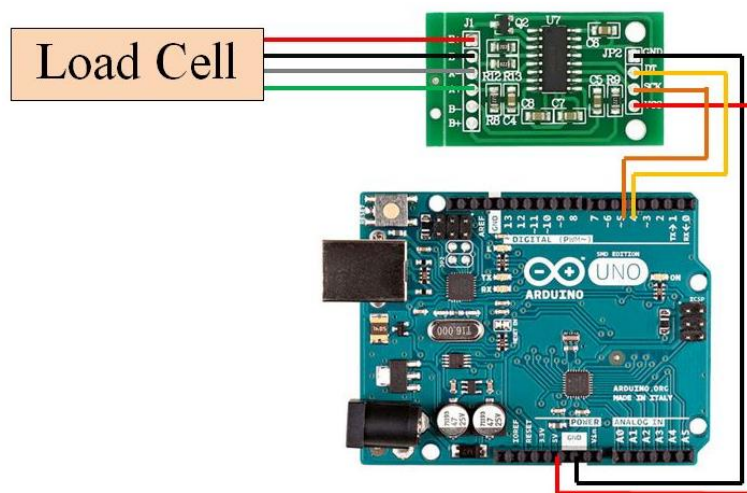
Gambar 2b. Bentuk objek dimana *strain gauge* ditempelkan



Gambar 2c. Konvensi warna kabel dan sinyal pada *loadcell*

Pengukuran beda tahanan sebuah *loadcell* sangat menantang karena perbedaan tahanan sebesar 2Ω (*full scale*) dengan total tahanan sebesar 860Ω berarti perbedaan tidak lebih dari 0,23% dari skala penuh (1 kg pada kasus Gambar 2b). Perbedaan berat sebesar 1 gram akan menghasilkan perbandingan perubahan yang sangat kecil dari skala penuh, dan ini menyulitkan pengukuran berat lewat perubahan tahanan. Untuk pengukuran tahanan dengan

presisi, *loadcell* biasanya dihubungkan dengan modul HX711 yaitu modul yang presisi untuk mengukur berat pada timbangan elektronik dengan konfigurasi jembatan Wheatstone secara digital. HX711 menggunakan *analog-to-digital converter* 24-bit dengan kepresisian yang tinggi (*high precision A/D*) dengan output serial. Output serial dari HX711 dihubungkan dengan sebuah sistem mikrokontroler Arduino, sehingga hasil dari data analog berat terukur diubah menjadi data digital oleh modul HX711 dan diproses lebih lanjut oleh sistem Arduino untuk tampilan data dan kontrol. Koneksi *Excitation+* dan *Excitation-* pada *loadcell* adalah untuk hubungan ke sumber daya. Sedangkan koneksi *Signal+* dan *Signal-* adalah hasil output analog pengukuran berat dari *loadcell*, yang menjadi sinyal input analog bagi modul HX711. Output digital dari modul HX711 dikomunikasikan secara serial dengan input digital sistem Arduino. Koneksi keseluruhan sistem untuk membaca nilai berat dari seluruh sistem infus dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sistem pengambilan data berat dengan menggunakan modul HX711 dan sistem Arduino

Pada sistem yang digunakan, data serial dari modul HX711 dihubungkan pada I/O digital di port 4 dan 5. Program untuk melakukan inisialisasi dan untuk pengambilan data berat dapat dilihat pada Gambar 4.

```
void setup()
{
  pinMode (A, INPUT);
  pinMode (B, INPUT);
  pinMode (C, INPUT);

  scale.set_scale();
  scale.tare(); //Reset the scale to 0

  long zero_factor = scale.read_average(); //Get a baseline reading
  Serial.print("Zero factor: "); //This can be used to remove the need to
                                //tare the scale. Useful in permanent
                                //scale projects.
  Serial.println(zero_factor);
}
```

Gambar 4. Snippet program untuk melakukan inisialisasi modul HX711 dan pengambilan data

Hasil penimbangan dengan program yang ada pada Gambar 4 ditampilkan pada layar monitor komputer setiap 10 detik dengan pengambilan data setiap detik. Beban yang digunakan pada saat pengujian program adalah beban yang ada dan bukanlah beban yang sudah dikalibrasi/ ditera dengan menggunakan timbangan yang telah ditera.

Sebelum pengambilan data berat, perangkat tersebut (mulai dari *loadcell*, modul HX711 dan sistem Arduino) telah dikalibrasi dengan beban yang sudah ada dan berat yang terukur pada sistem telah sesuai dengan hasil terukur pada timbangan yang telah ditera. Proses kalibrasi dilakukan dengan menggunakan neraca timbal yang sudah ditimbang menggunakan timbangan yang telah ditera [TIMBANGAN dari TEKNIK KIMIA, tipe dan nama sertifikat tera]. Tabel 1 adalah hasil observasi antara neraca timbal, neraca yang telah dikalibrasi dan hasil

dari sistem yang sedang dibuat. Kolom berat neraca menunjukkan beban timbal yang dipergunakan berdasarkan label pada beban tersebut, dan data pada kolom hasil timbang berat adalah hasil dari penimbangan dengan menggunakan neraca digital [TEKNIK KIMIA DENGAN SERTIFIKAT KALIBRASI] yang berarti bahwa itu adalah berat timbal sebenarnya. Hasil penimbangan dengan menggunakan *loadcell*, HX711 dan Arduino terlihat pada kolom 3. Error yang didapat adalah selisih berat dari hasil neraca digital dan hasil output HX711, baik dalam satuan gram maupun dalam bentuk persentase. Hasil observasi dengan menggunakan kalibrasi didapatkan hasil beda berat terukur kurang dari 1,5 gram, atau kurang dari 1% dari berat sesungguhnya. Pengaturan ini yang digunakan dalam penimbangan dengan sistem yang dirancang ini.

Tabel 1. Hasil observasi berat dengan referensi timbangan yang telah dikalibrasi

Berat neraca (gram)	Hasil [TEKNIK KIMIA]	Hasil sistem dengan HX711	Error (gram)	Error
				(persen)
50	50.7	50.15	-0.5	-0.99
100	99.9	100.8	0.9	0.9
50 + 100	150.6	150.2	-0.4	-0.27
200	197.7	198.4	0.7	0.35
50 + 200	248.4	247.2	-1.2	-0.48
100 + 200	297.6	298.6	1	0.34
50+100+200	348.3	348.1	-0.2	-0.06
50+50+100+200	399.1	398.3	-0.8	-0.2
50+200+200	448.2	447.9	-0.3	-0.07
500	499	500.3	1.3	0.26

Jumlah cairan yang telah keluar dari tabung infus dimonitor dengan pengambilan data dilakukan secara terus-menerus dengan pembaruan (*update*) data dilakukan setiap detik dan pada saat yang sama harus mengubah data dari berat menjadi volume dengan konversi berat jenis. Gambar 5 adalah modifikasi program untuk melakukan pemantauan data secara terus-menerus dan menampilkannya di LCD2x16 karakter.

```

if(As1==HIGH || Bs1==HIGH || Cs1==HIGH)
{
    scale.set_scale(calibration_factor); //Adjust to this calibration factor
    Serial.println("Reading: ");
    units = scale.get_units(), 1;
    Serial.print("total=");
    Serial.println(units);

    ounces = units * 0.035274;
    hasil = total * 0.997; //0.997 adalah massa jenis air pada suhu 25 derajat celcius
    if (hasil>nilaiawal && x<=14)
    {
        selisih = hasil - nilaiawal;
        x++;
        Serial.print("hasil= ");
        Serial.println(hasil);
        Serial.print("selisih= ");
        Serial.println(selisih);
    }

    hasil = hasil-selisih;
    sisa = hasil-nilaiawal; //volume yang sudah keluar
    Serial.print( sisa);
    Serial.print(" ml");

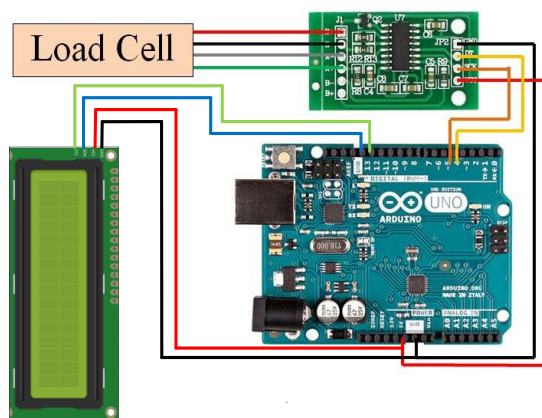
    Serial.println();
}

```

Gambar 5. Snipet program untuk melakukan inisialisasi modul HX711 dan pengambilan data
TE-42

Tampilan LCD dibutuhkan pada saat alat ini diaplikasikan untuk memonitor jumlah cairan infus yang telah masuk ke tubuh pasien, karena alat ini harus independen dan tidak terkoneksi dengan komputer. Tampilan LCD yang dipergunakan sudah dilengkapi dengan modul I2C untuk mengurangi jumlah pin yang digunakan pada sistem Arduino. Dengan penggunaan I2C protokol, maka jumlah pin yang dibutuhkan berkurang dari 7 I/O menjadi 2 I/O. Sisa dari I/O ini akan digunakan untuk kebutuhan lain seperti alarm dan tombol untuk entri data. Gambar 6 adalah interkoneksi yang digunakan untuk melakukan pemantauan cairan infus secara terus-menerus dengan tampilan LCD 2x16 karakter.

Perangkat untuk melakukan percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 6. Pada sistem ini terdapat *loadcell* seperti yang telah didiskusikan sebelumnya. *Loadcell* dihubungkan ke modul HX711 untuk mengkonversi data analog perubahan tahanan yang berbanding lurus dengan berat menjadi sinyal digital, dan ditransmisikan ke Arduino secara serial. Hasil pemrosesan data dari Arduino selanjutnya ditampilkan pada LCD 2x16 karakter dengan menggunakan protokol I2C. Pada Gambar 6 terlihat koneksi Arduino dengan modul HX711 dan dengan LCD 2x16 karakter.

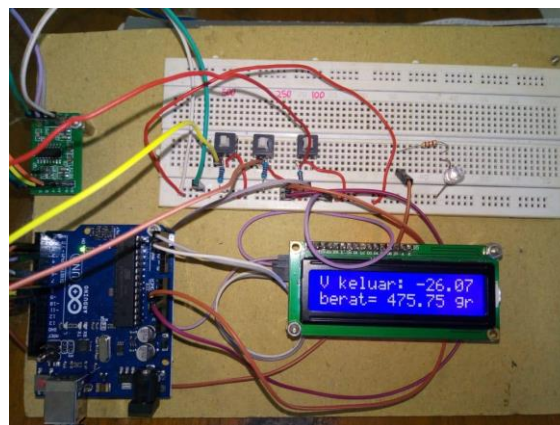


Gambar 6a. Sistem untuk monitor cairan infus dengan Arduino, modul HX11 dan tampilan LCD 2x16 karakter



Gambar 6b. Tiang infus yang telah dimodifikasi dengan gantungan dua buah *loadcell*

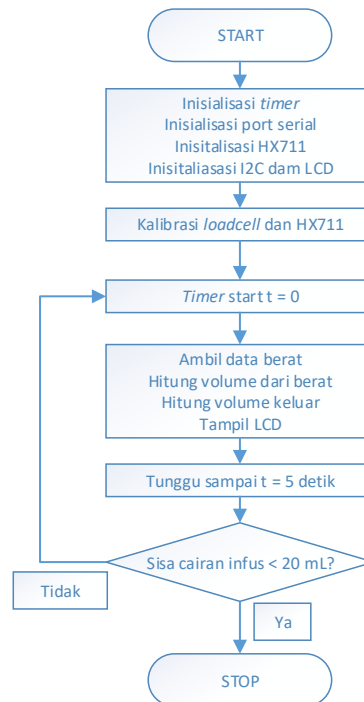
Struktur gantungan untuk botol infus beserta dengan *loadcell* dapat dilihat pada Gambar 6b. Pada Gambar 6b terlihat di bagian atas terdapat dua buah *loadcell* yang nantinya akan digunakan untuk melakukan monitor untuk dua buah cairan infus secara bersamaan. Untuk percobaan ini *loadcell* yang digunakan adalah *loadcell* kiri dengan beban sebuah botol infus. Terlihat pada Gambar 6b, kabel yang digunakan untuk menghubungkan *loadcell* tersebut dengan modul HX711 (tidak tampak).



Gambar 7. Interkoneksi lengkap pada perangkat Arduino untuk memonitor cairan infus yang keluar dari tabung infus

Gambar 7 adalah interkoneksi lengkap yang merupakan implementasi dari Gambar 6a. Pada gambar tersebut modul Arduino terletak pada bagian kiri bawah, modul HX711 terletak disebelah kiri bagian atas modul Arduino dan pada bagian kanan terdapat tampilan LCD yang disebutkan diatas. Pada perangkat ini terlihat bahwa Arduino sedang melakukan monitor cairan yang keluar dan pada saat itu terlihat di tampilan bahwa cairan yang telah keluar adalah 26.07 ml. Pada sistem ini jumlah cairan yang keluar dimonitor secara terus-menerus dan tampilan selalu diperbarui (*update*) setiap 5 detik. Pada saat cairan sisa 20 mL (mili liter) maka proses infus selesai, karena pada praktiknya perawat sering menghentikan proses infus intravena setelah cairan infus sisa 20 mL atau kurang untuk menghindari habisnya cairan diluar pantauan.

Diagram alir (*flow chart*) pada Gambar 8 adalah prosedur yang dilakukan untuk memonitor jumlah cairan yang keluar dari tabung infus. Pada saat perangkat dinyalakan, maka program akan mulai bekerja untuk melakukan inisialisasi sistem yang ada pada Arduino (*timer* dan port serial) dan perangkat lain yang terhubung pada sistem Arduino tersebut (HX711 dan LCD lewat interkoneksi I2C). Langkah selanjutnya adalah kalibrasi *loadcell* untuk mendapatkan nilai beban 0 gram pada awal dan sebelum tabung cairan infus digantungkan pada *loadcell*. Pada saat loop untuk pengambilan data maka timer akan dimulai dengan reset waktu $t = 0$, dan mulai penghitungan waktu. Pada saat ini perangkat akan mulai mengambil data berat, menghitung volume sisa dan kemudian menghitung volume yang telah keluar. Setelah semua proses selesai, waktu penghitungan tetap berjalan sampai waktu 5 detik berakhir dan proses dimulai lagi dengan reset waktu. Setelah sisa cairan infus kurang dari 20 mL, maka semua proses ini selesai.



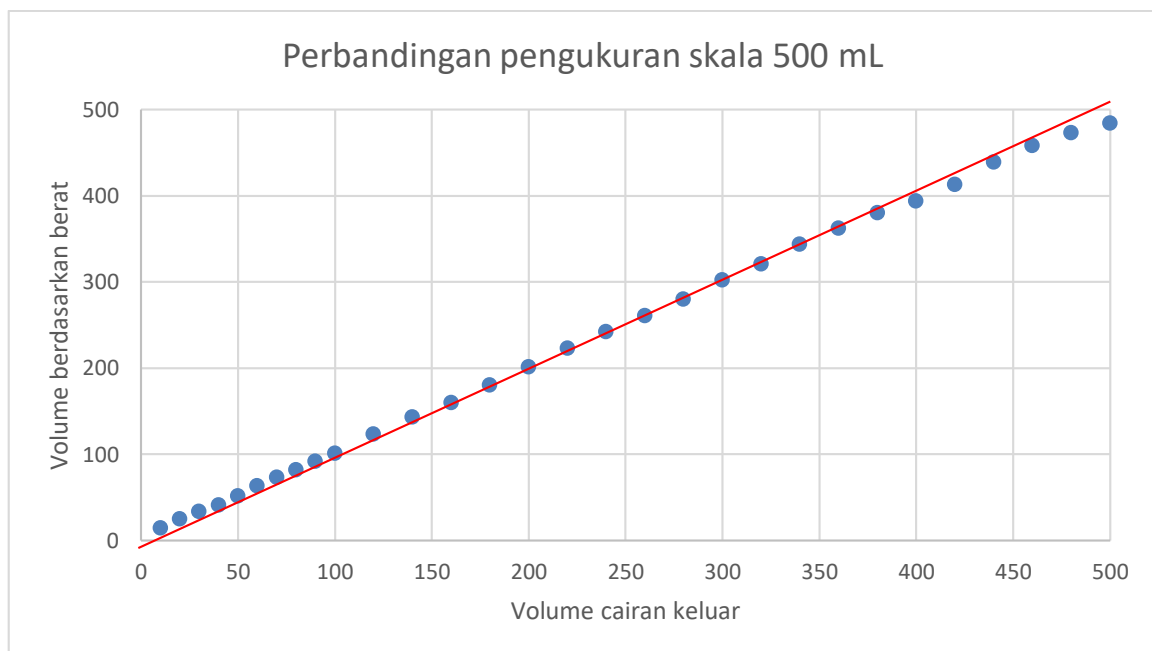
Gambar 8. Prosedur yang dilakukan untuk memonitor jumlah cairan yang keluar dari tabung infus

Gambar 9 adalah foto dari perangkat secara keseluruhan dengan tabung infus pada *loadcell* bagian kiri. Terlihat pada gambar ini, semua koneksi sudah terhubung dan infusion set sudah tergantung untuk mengalirkan cairan infus keluar dari tabung infus. Perangkat yang ada pada Gambar 7 terlihat pada bagian kiri di Gambar 9.

Hasil monitor pada perangkat ini terlihat pada plot Gambar 10. Pada gambar ini terlihat bahwa jumlah cairan termonitor keluar oleh sistem ini setiap kurang lebih 20 mL dihentikan dan jumlah cairan yang sudah keluar diukur dengan menggunakan gelas ukur volume. Hasil monitor dari perangkat ini dipetakan pada sumbu horisontal, sedangkan sumbu vertikal untuk jumlah cairan yang benar-benar keluar dari sistem infus dengan melakukan pengukuran volume lewat gelas ukur. Dari plot tersebut terlihat bahwa data cairan yang dilaporkan keluar oleh sistem dan volume cairan yang keluar diukur oleh gelas ukur mendekati sama dengan beda volume kurang dari 3 mL. Hal ini dapat dilihat dari relasi nilai oleh sistem dan nilai dari pengukuran berada pada garis linier tersebut. Hasil observasi secara numerik untuk mendapatkan data yang lebih terperinci dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 9. Sistem penimbangan cairan infus dengan menggunakan modul HX711 dan sistem Arduino dan tampilan LCD



Gambar 10. Hasil observasi nilai cairan sisa lewat monitor sistem Arduino dan dengan melakukan pengukuran volume lewat gelas ukur

Tabel 2. Hasil perbandingan volume pengukuran lewat berat dan volume

gelas ukur	tampilan LCD	gelas ukur	tampilan LCD
10	14.4	220	222.6
20	24.4	240	242
30	33.5	260	260.4
40	40.56	280	279.4
50	51.27	300	301.9

60	63.18	320	320.3
70	72.73	340	343.3
80	81.92	360	361.8
90	91.54	380	379.9
100	101.1	400	393.4
120	122.9	420	412.8
140	143	440	438.6
160	159.4	460	457.8
180	179.8	480	472.6
200	200.9	500	483.8

Tabel 2 mengilustrasikan data perbandingan antara pengukuran dengan menggunakan gelas ukur volume dan volume yang diukur lewat pengukuran berat jenis cairan. Pada pengukuran ini terdapat perbedaan nilai yang telah digambarkan lewat grafik pada Gambar 10 dan numerik lewat tabel 2.

3. KESIMPULAN

Dari hasil perangkat yang dibuat ini, terlihat bahwa dengan melakukan observasi pengukuran berat cairan, dan dengan melakukan konversi dari berat menjadi volume, lalu melakukan konversi untuk menghitung sisa cairan, maka jumlah cairan yang masuk ke pasien dengan mengukur jumlah cairan yang keluar dari tabung infus dapat dimonitor dengan baik. Jadi perangkat telah mampu melakukan monitor cairan infus yang masuk ke pasien dengan memonitor berat cairan infus, dan perangkat bisa berhenti bekerja setelah cairan infus tersisa kurang dari 20 mL, sehingga metodenya dapat digunakan untuk proses lebih lanjut.

4. UCAPAN TERIMA KASIH

Riset dan pengembangan sistem infus ini dibiayai oleh:

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
 Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan
 Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi
 Sesuai dengan Kontrak Penelitian Nomor: 115U/WM01.5/N/2018

PUSTAKA

- H. Amano, H. Ogawa, H. Maki, S. Tsukamoto, Y. Yonezawa, and W. M. Caldwell, "A remote drip infusion monitoring system employing Bluetooth," in *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*, 2012.
- E. Barros and M. V. D. dos Santos, "A SAFE, ACCURATE INTRAVENOUS INFUSION CONTROL SYSTEM," *IEEE Micro*, pp. 12–21, 1998.
- A. Cataldo, G. Cannazza, N. Giaquinto, A. Trotta, and G. Andria, "Microwave TDR for real-time control of intravenous drip infusions," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 61, no. 7, pp. 1866–1873, 2012.
- R. Gil, A. Jr, J. N. Padilla, and B. T. T. Iii, "Intravenous piggyback infusion control and monitoring system using wireless technology," *Int. J. Adv. Technol. Eng. Explor.*, vol. 3, no. 17, pp. 50–57, 2016.
- R. C. Gupta, T. K. Taneja S K, and S. Verma, "Design and implementation of controlled drug infusion system," *J. Sci. Ind. Res.*, vol. 64, no. October, pp. 761–766, 2005.
- C. Huang and J. Lin, "A Warning System Based on the RFID Technology for Running-Out of Injection Fluid," *Int. Conf. IEEE EMBS*, pp. 2212–2215, 2011.
- V. V Kamble, P. C. Pandey, C. P. Gadgil, and D. S. Choudhary, "Monitoring of Intravenous Drip Rate," *Proc. ICBME*, vol. i, 2001.
- D. Kelly and S. J. Brull, "The Cost of Modern Technology," *J. Clin. Anesth.*, vol. 180, no. 7, pp. 80–81, 1995.
- D. R. Lide and G. Baysinger, "TeamLRN CRC Handbook of Chemistry and Physics," p. 2265, 2005.
- E. T. Pierce, V. Kumar, H. Zheng, and R. A. Peterfreund, "Medication and volume delivery by gravity-driven micro-drip intravenous infusion: Potential variations during 'wide-open' flow," *Anesth. Analg.*, vol. 116, no. 3, pp. 614–618, 2013.
- B. Raghavendra, K. Vijayalakshmi, and M. Arora, "Intravenous drip meter & controller," *2016 8th Int. Conf. Commun. Syst. Networks, COMSNETS 2016*, pp. 1–5, 2016.
- H. Rashid, S. Shekha, S. M. T. Reza, I. U. Ahmed, and Q. Newaz, "A Low Cost Automated Fluid Control Device using Smart Phone for Medical Application," *Int. Conf. Electr. Comput. Commun. Eng.*, pp. 809–814, 2017.

- K. K. Thariyan, S. R. Taneja, R. C. Gupta, and S. S. Ahluwalia, "Design and Development of a Unique Drop Sensing Unit for Infusion Pump," *J. Sci. Ind. Res.*, vol. 61, pp. 798–801, 2002.
- S. H. Ting, C. K. Wu, and C. H. Luo, "Design of dual mode RFID antenna for inventory management and IV fluid level warning system," *Int. J. Antennas Propag.*, 2017.
- X. Wen, "Design of Medical Infusion Monitor and Protection System Based On Wireless Communication Technology," *Second Int. Symp. Intell. Inf. Technol. Appl.*, pp. 755–759, 2008.
- H. Zhu, "New Algorithm of Liquid Level of Infusion Bottle Based on Image Processing," pp. 1 –3, 2009.

SISTEM PENGENDALI LEVEL AIR DENGAN ALGORITMA *PROPORTIONAL, INTEGRAL, DERRIVATIVE* BERBASIS *SUPERVISORY, CONTROL, AND DATA ACQUISITION*

Brian Wijaya¹, Melisa Mulyadi²

*Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya Jakarta
Jalan Jendral Sudirman 51, Jakarta*

E-mail: brian_first@rocketmail.com, melisa.mulyadi@atmajaya.ac.id

ABSTRAK

*Proses pengendalian level air merupakan salah satu proses yang penting di industri. Bila level air melebihi ketinggian yang diinginkan maka air akan meluap dan bila level air kurang dari ketinggian yang diinginkan dapat menyebabkan proses terganggu. Level air dapat dijaga konstan dengan mengatur kecepatan aliran masuk dan keluar pada tangki. Pada makalah ini proses pengaturan level air direalisasikan dengan menggunakan programmable logic controller (PLC) sebagai kendali utama dengan algoritma *proportional, integral, derrivative* (PID) dan dapat dipantau serta dikendalikan dari jarak jauh menggunakan *supervisory, control, and data acquisition* (SCADA). PLC dapat mengendalikan level air dengan cara mengatur kecepatan aliran air berdasarkan besar tegangan yang diberikan pada control valve setelah PLC mendapat masukan dari sensor level transmitter.*

Kata Kunci: control valve, Programmable Logic Controller, SCADA

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses yang terjadi dalam industri sangat tergantung pada pengukuran dan pengendalian besaran proses. Salah satu proses yang harus diukur dan dikendalikan pada industri kimia adalah pengaturan level zat cair di sebuah tangki. Bila level cairan didalam tangki tidak dijaga konstan maka proses tidak akan bekerja dengan baik. Otomasi pengaturan level air di tangki dapat direalisasikan menggunakan bantuan pengendali yang umum dijumpai di industri yaitu *Programmable Logic Controller* (PLC). Level air dijaga konstan dengan mengatur laju aliran cairan yang masuk dan yang keluar dengan metode pengendali *Proportional, Integral, Derivative* (PID) dan dihubungkan ke *Supervisory, Control, and Data Acquisition* (SCADA) sehingga proses dapat dipantau dan dikendalikan dari jarak jauh.

1.2 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai adalah membuat sistem pengaturan level air menggunakan *programmable logic controller* dengan algoritma kendali *proportional, integral, derivative* dan dihubungkan ke *supervisory, control, and data acquisition*.

1.3 Metodologi Penelitian

Metode yang dilakukan untuk membuat sistem pengendalian level air diawali dengan mempelajari karakteristik setiap sensor, kemudian melakukan pengalamatan setiap modul input output ke PLC. Selanjutnya adalah menghubungkan PLC dengan SCADA.

1.4 Tinjauan Pustaka

1.4.1 Programmable Logic Controller (PLC)

Programmable Logic Controller (PLC) merupakan sistem pengendali elektronik yang beroperasi secara digital dan didesain untuk industri. PLC menggunakan memori yang dapat diprogram untuk menyimpan secara internal instruksi-instruksi dengan fungsi-fungsi spesifik seperti logika, urutan, pewaktuan, pencacahan, dan operasi aritmatika untuk mengendalikan mesin atau proses melalui modul I/O digital maupun analog (Setiawan, 2006). Dalam pembuatan sebuah sistem menggunakan PLC dibutuhkan bahasa pemrograman untuk dapat memerintahkan PLC tersebut. Salah satu bahasa pemrograman yang dapat digunakan adalah *function block diagram/ function plan*. Bahasa pemrograman ini menitikberatkan pada hubungan antara variabel *input* dengan *output* dalam bentuk gambar diagram blok yang didalamnya terdapat fungsi – fungsi tertentu.

1.4.2 Supervisory, Control, and Data Acquisition

Supervisory, Control, and Data Acquisition (SCADA) adalah suatu sistem yang dapat memantau dan mengendalikan suatu peralatan atau sistem dari jarak jauh secara *real time* (Boyer, 2006). Sebagai penghubung

antara manusia pengguna dengan mesin atau peralatan yang akan dikendalikan, digunakan perangkat lunak antarmuka *Human Machine Interface* (HMI)

1.4.3 Penalaan Parameter Propotional, Integral, Derrivative

Aspek yang sangat penting dalam desain kontroler *Proportional, Integral, Derrivative* (PID) adalah penalaan parameter kontroler PID. Penalaan parameter kendali dilakukan agar proses sistem menjadi optimal dan kesalahan antara variabel proses dan nilai keluaran yang diinginkan (*setpoint*) menjadi minimal sehingga sistem memenuhi kriteria performansi yang diinginkan.

Persamaan pengendali PID dinyatakan dalam Persamaan (1).

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (1)$$

keterangan:

u = sinyal kendali

e = *error*

K_p = *proportional gain*

T_i = *integral controller*

T_d = *derrivative controller*

Salah satu metode yang digunakan untuk penalaan parameter PID adalah metode Ziegler-Nichols, yang mengusulkan aturan untuk menentukan nilai K_p , T_i dan T_d berdasarkan pada karakteristik tanggapan peralihan dari *plant* seperti yang ditunjukkan Tabel 1 (Astrom, 2000).

Tabel 1. Penentuan parameter PID

Type of controller	K_p	T_i	T_d
P	0.5 K_{cr}	∞	0
I	0.45 K_{cr}	1/1.2 P_{cr}	0
D	0.6 K_{cr}	0.5 P_{cr}	0.125 P_{cr}

K_{cr} (*ultimate gain*) adalah nilai penguatan proporsional pada saat sistem mencapai kondisi berosilasi dengan amplitudo konstan. Periode osilasi disebut P_{cr} (*ultimate period*). Berdasarkan nilai K_{cr} dan P_{cr} ini dapat ditentukan nilai parameter K_p , T_i , dan T_d

1.4.4 Water Level Sensor

Water level sensor adalah alat yang digunakan untuk menghitung ketinggian air dengan cara memberikan sinyal *alarm / automation panel* yang menyatakan permukaan air telah mencapai *level* tertentu (De Silva, 2007). Ada beberapa jenis *water level sensor* antara lain :

1. *Differential pressure transmitter* yang dapat dilihat pada Gambar 1. *Differential pressure transmitter* mengukur *level* sebuah tabung terbuka berdasarkan tekanan didalam tabung.



Gambar 1. Differential pressure level transmitter

2. *Level switch* yang merupakan saklar otomatis. Pada penerapannya *level switch* dibagi menjadi beberapa tipe, salah satunya yaitu tipe kapasitif yang dapat dilihat pada Gambar 2. *Level switch* tipe kapasitif bekerja berdasarkan perubahan muatan listrik. Terdiri dari 2 elektrode kapasitor yang muatan listriknya dipengaruhi oleh material yang terdeteksi. Perubahan muatan listrik inilah yang dikonversi menjadi sinyal *output* oleh rangkaian modul yang ada di dalam *level switch* tersebut.

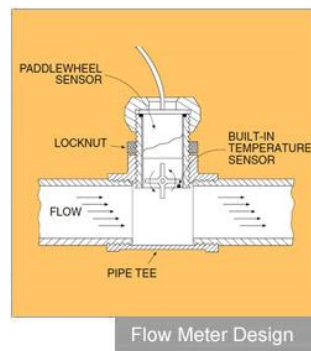


Gambar 2. Level switch tipe kapasitif

1.4.5 Flowmeter Sensor

Flowmeter adalah alat yang digunakan untuk mengetahui adanya suatu aliran material (*liquid, powder, gas*) dalam suatu aliran (Simbolon, 2013). Digunakan untuk menghitung sejumlah massa yang lewat dalam sebuah bidang/area dalam satuan waktu [4]. Jenis *flowmeter* yang paling sering digunakan adalah :

1. *Paddlewheel flowmeter*, yang bagian penampangnya diperlihatkan pada Gambar 3. Jika mendapat tekanan maka kincir akan bergerak. Pergerakan ini akan dibaca sebagai sebuah sinyal berbentuk jumlah putaran persatuan detik (Simbolon, 2013).



Gambar 3. Desain paddlewheel flowmeter

2. *Differential pressure flowmeter* yang berupa *orifice flowmeter* seperti Gambar 4. *Orifice* mengukur laju aliran, berdasarkan beda tekanan atau yang biasa disebut dengan Prinsip Bernoulli. Prinsip Bernoulli menyatakan adanya hubungan antara tekanan fluida dan kecepatan fluida yaitu jika kecepatan meningkat maka tekanan akan menurun dan begitu juga sebaliknya. Fluida mengalir melalui pipa dan di lewatkan melalui lubang pada *orifice* yang mengakibatkan terjadinya perubahan tekanan dan kecepatan, sehingga dengan mengetahui perbedaan tekanan pada pipa normal dan tekanan pada titik temu, maka dapat ditentukan laju aliran yang dinyatakan dengan Persamaan (2).

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g z_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g z_2 \quad (2)$$

keterangan:

- p = tekanan stagnansi (Pa)
- ρ = massa jenis (kg/m³)
- v = laju aliran (m/s)
- g = percepatan gravitasi (9,801 m/s²)
- z = ketinggian (m)



Gambar 4. Orifice flowmeter

1.4.6 Valve Motorized

Valve motorized adalah katup otomatis untuk mengatur aliran (*flow*) yang disesuaikan dengan masukan yang diberikan padanya [6]. Parameter pengendali *valve motorized* ini bisa berupa *pressure* (tekanan), *flow* (aliran), *temperature* (suhu), *level* ketinggian sesuai dengan sensor elemen yang terdapat pada *valve motorized* tersebut

(De Silva, 2007). Berdasarkan bukaan yang dilakukan, maka *valve* ini dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu analog dan digital. Analog mengatur bukaan dari 0 hingga 100 persen, sedangkan digital hanya mengatur bukaan 0 dan 100 persen. Pada Gambar 5 dapat dilihat salah satu jenis *valve motorized*.

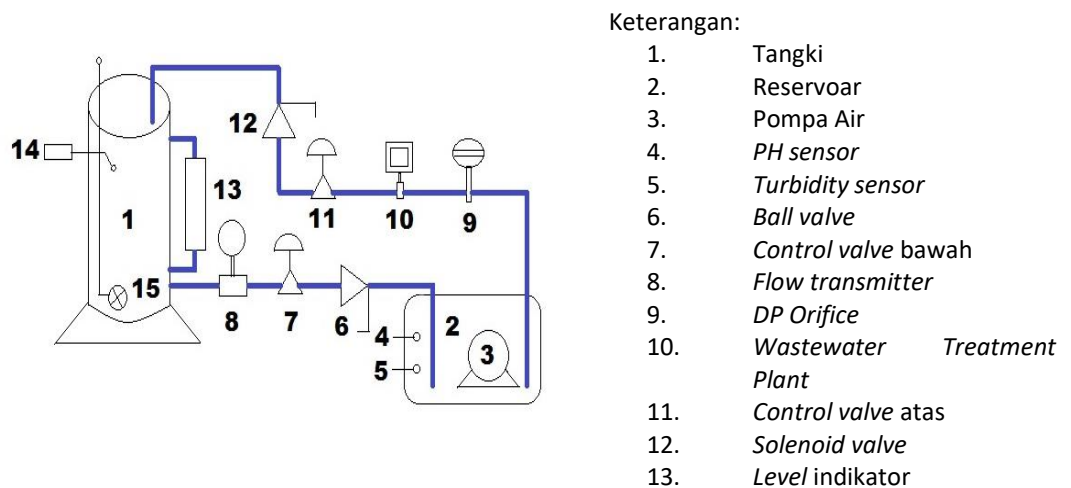


Gambar 5. *Valve motorized*

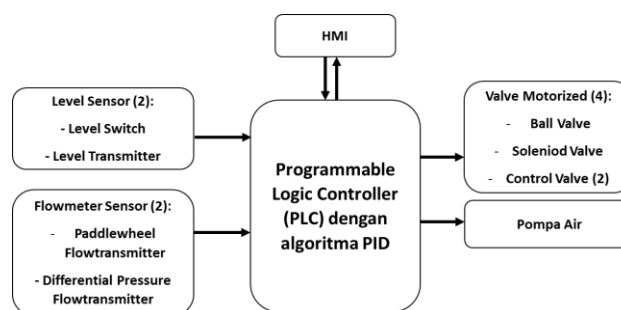
2. PEMBAHASAN

2.1 Perancangan Perangkat Keras

Arsitektur perangkat keras, dan diagram blok dari sistem pengaturan *level* ketinggian air dapat dilihat pada Gambar 6, dan Gambar 7.



Gambar 6. Arsitektur perangkat keras



Gambar 7. Diagram blok sistem

Level ketinggian air dipertahankan pada kondisi tertentu dengan cara mengatur laju keluaran air menuju reservoir dari tangki (pipa pengosongan). Laju keluaran air diatur oleh *control valve* yang berada pada pipa pengosongan. *Level* ketinggian air didalam tangki akan dijaga konstan sesuai *setpoint* yaitu 40 liter dan 60 liter dengan nilai toleransi $\pm 10\%$ dari *setpoint*.

Ketika nilai *level* terukur pada tangki kurang/lebih dari *setpoint* maka PLC akan mengatur bukaan *control valve*, sehingga *level* tangki akan sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan. Pengaturan dapat dilakukan dengan bantuan tampilan HMI HCix08 yang disediakan. Ketika sistem dijalankan, pengguna dapat menentukan besar nilai *setpoint*, Kp, Ti, Td. Pengguna dapat menggunakan nilai Kp, Ti, dan Td diluar nilai yang telah ditentukan melalui program. Pada tampilan HMI HCix08, pengguna dapat mengamati nilai parameter PID, *setpoint*, volume

air dalam tangki, laju kecepatan air pada pipa pengisian dan pipa pengosongan. Terdapat juga sebuah grafik respon sistem yang menampilkan besar nilai *setpoint*, nilai *level* terukur, dan nilai bukaan *control valve*. Perancangan kerangka *hardware* sistem terbagi menjadi 4 bagian utama yaitu alat, panel kontrol alat, panel kontrol PLC, dan komputer yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Keterangan:

1. *Plant*
2. Panel kontrol alat
3. Panel kontrol PLC
4. Komputer

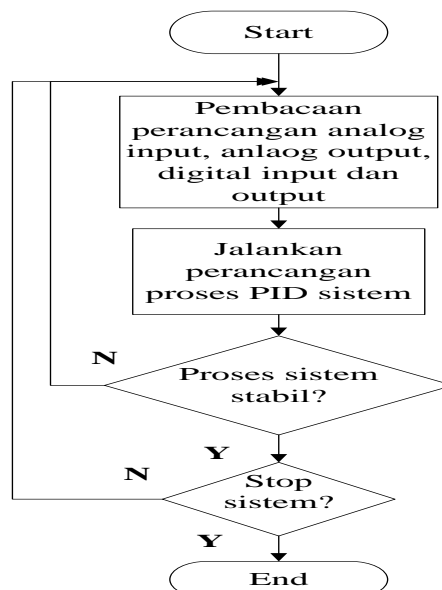
Gambar 8. Kerangka *hardware* sistem

Komunikasi antara PLC, HMI HCix08, dan komputer menggunakan kabel RJ-45. Setiap peralatan yang menggunakan kabel RJ-45 memerlukan konfigurasi *IP Address* terlebih dahulu agar dapat berkomunikasi. Dalam hal ini digunakan hub untuk menghubungkan PLC, *Plant*, HMI HCix08, dan komputer agar terhubung satu sama lain. Alamat *IP Address* masing-masing peralatan sebagai berikut:

1. PLC = 192.168.1.254
2. Hub = 192.168.1.1
3. *Plant* = 192.168.1.200
4. HMI = 192.168.1.121

2.2 Perancangan Perangkat Lunak

Diagram alir siklus kerja sistem dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram alir siklus kerja sistem

2.2.1 Perancangan perangkat lunak PLC

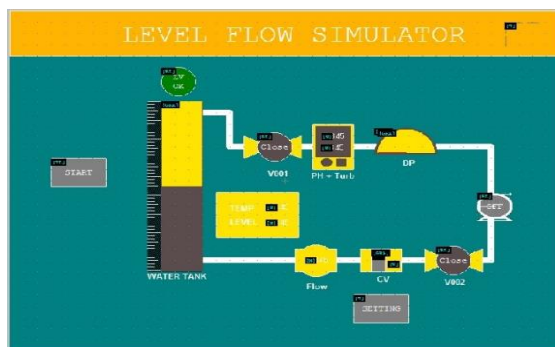
Perancangan perangkat lunak sistem pada PLC menggunakan Honeywell Hybrid Control Designer v4.404 dengan menggunakan bahasa pemrograman *function block*. Pengalamatan sensor dan aktuator pada sistem dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 2. Pengalamatan sensor dan aktuator

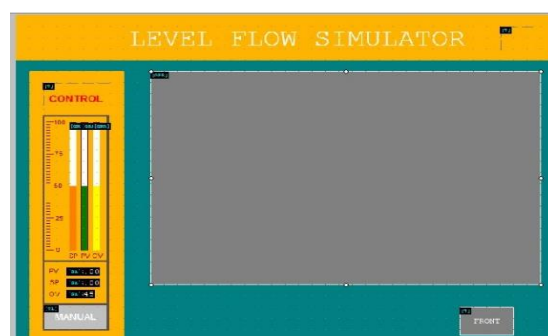
Rack	Module	Channel	Block	Eng. Units	AI Input Range	Tag Name
1	1	1	8DI112			LV SWITCH
	1	2	8DI112			DI_2
	1	3	8DI112			DI_3
	1	4	8DI112			DI_4
	1	5	8DI112			DI_5
	1	6	8DI112			DI_6
	1	7	8DI112			DI_7
	1	8	8DI112			DI_8
2	1	1	8DO113			AVALVE BAWAH
	2	2	8DO113			SVALVE ATAS
	2	3	8DO113			PUMP
	2	4	8DO113			DO_4
	2	5	8DO113			DO_5
	2	6	8DO113			DO_6
	2	7	8DO113			DO_7
	2	8	8DO113			DO_8
3	1	1	AI103		mA 4 20	DP_FLOW
	3	2	AI104		mA 4 20	PRESS1
	3	3	AI105		mA 4 20	AL_3
	3	4	AI106		mA 4 20	AL_4
	3	5	AI107		mA 4 20	LVL_TRANS1
	3	6	AI108		mA 4 20	FLOW_TRANS
	3	7	AI109		mA 4 20	AL_7
	3	8	AI110		mA 4 20	AL_8
4	1	1	AO114			VALVE_BAWAH
	2	2	AO115			VALVE_ATAS
	3	3	AO116			AO_3
	4	4	AO117			AO_4

2.2.2 Perancangan perangkat lunak HMI

Perancangan tampilan HMI HCix08 menggunakan Honeywell XDesigner Plus v2.6. Perancangan dilakukan pada area kerja yang telah disediakan dengan cara memilih jenis dan tipe HMI, kemudian memilih tipe PLC untuk dihubungkan serta mengatur tampilan dasar layar (*screen*). Pada makalah ini dibuat tampilan yang terdiri dari tiga buah *screen* yaitu *control screen* menampilkan simulasi, kondisi dan parameter dari sistem, *graphic screen* menampilkan grafik performa pada sistem, dan *process screen* yang menampilkan pengaturan parameter PID untuk setiap *setpoint* yang diinginkan. Tampilan *interface* HMI HCix08 pada sistem ini dapat dilihat pada Gambar 10, Gambar 11, Gambar 12.



Gambar 10. Control screen



Gambar 11. Graphic screen



Gambar 12. Process screen

Serangkaian fitur pada tampilan HMI HCix08 terdiri dari 8 buah *button*, 6 buah *I/O Box*, 3 buah *scale bar*, satu buah *lamp*, satu *graphic display*, dan serangkaian informasi berupa *text* dan angka.

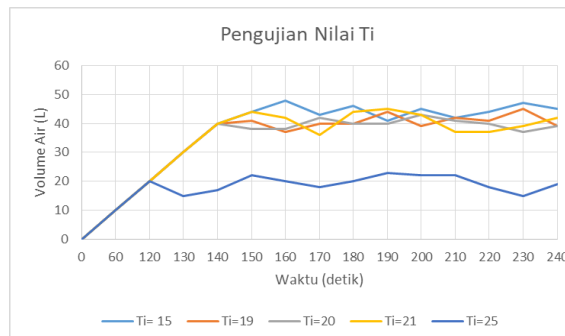
2.3 Pengujian Sistem dengan Input Konstan

Pengujian sistem dilakukan dengan bukaan *control valve* atas bernilai konstan (100%).

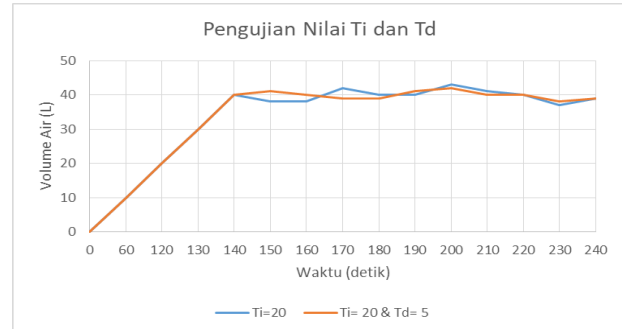
Pengujian diawali dengan mencari nilai parameter pengendali PID (K_p , T_i , T_d) yang terbaik untuk setpoint 40 dan setpoint 60 kemudian melihat respon pengendali jika terjadi gangguan dari sisi input.

2.3.1 Pengujian nilai kendali I dan D pada sistem

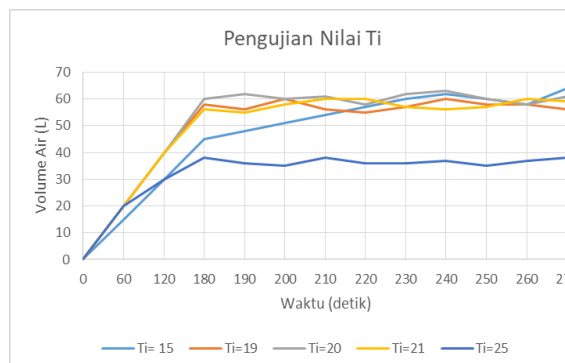
Perubahan nilai T_i dan T_d akan membuat respon sistem ikut berubah, hal ini diuji dengan menjalankan sistem pada nilai T_i dan T_d yang berbeda. Pengujian ini dilakukan pada *setpoint* 40 dan 60 dengan pengendali PI dan PID. Hasil grafik pengujian komponen pengendali PI dan PID dapat dilihat pada Gambar 13, Gambar 14, Gambar 15, dan Gambar 16.



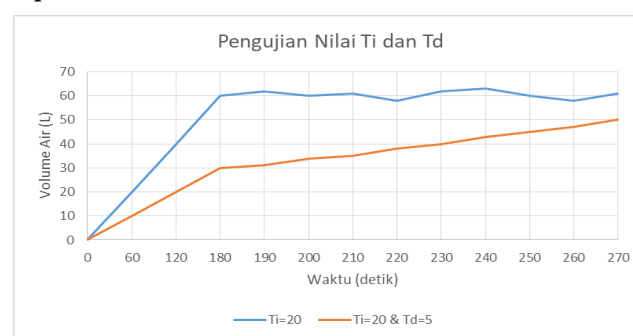
Gambar 13. Pengujian PI dengan *setpoint* 40



Gambar 14. Pengujian PI terhadap PID dengan *setpoint* 40



Gambar 15. Pengujian PI dengan *setpoint* 60

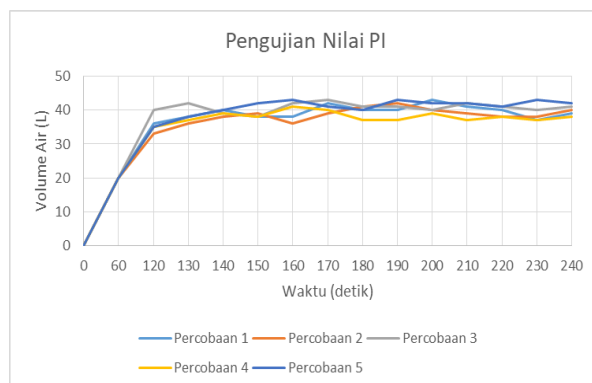


Gambar 16. Pengujian PI terhadap PID dengan *setpoint* 60

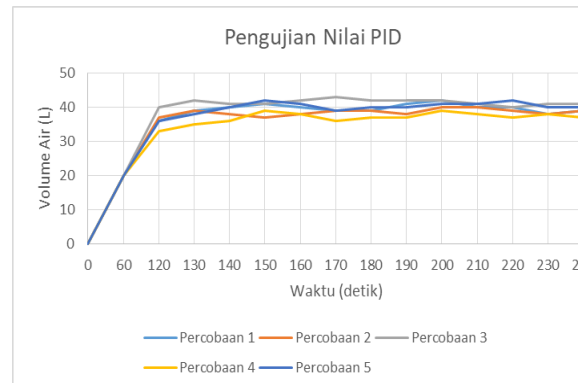
Berdasarkan hasil pengujian pada *setpoint* 40, pengujian pengendali PI didapatkan nilai T_i terbaik pada saat bernilai 20, dan pada saat pengujian nilai PID nilai T_d terbaik pada saat bernilai 5. Dapat dilihat dari grafik Gambar 14, pengujian nilai PID memiliki osilasi yang lebih baik di awal dibandingkan dengan pengujian nilai PI. Pada hasil pengujian *setpoint* 60, penggunaan kendali PI dengan nilai T_i sebesar 20 memberikan hasil yang baik sedangkan jika digunakan kendali PID keluaran tidak bisa mencapai *setpoint* 60.

2.3.2 Pengujian nilai kendali sistem keseluruhan

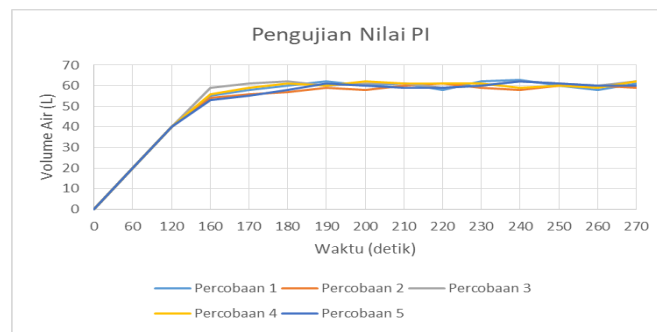
Pengujian nilai kendali sistem keseluruhan dilakukan lima kali untuk setiap nilai *setpoint* yang dapat dilihat pada Gambar 17, Gambar 18 dan Gambar 19.



Gambar 17. Pengujian PI untuk *setpoint* 40

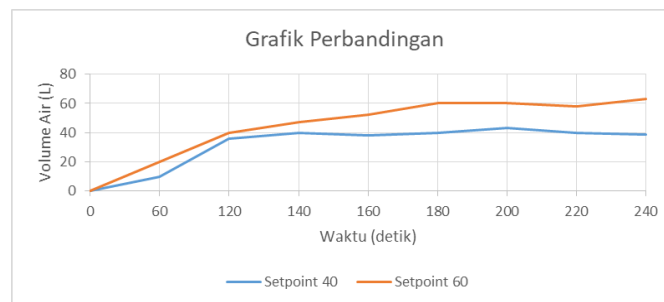


Gambar 18. Pengujian PID untuk *setpoint* 40



Gambar 19. Pengujian PI untuk *setpoint* 60

Dari hasil pengujian pada *setpoint* 40 dapat diketahui bahwa keluaran sistem hampir sama jika menggunakan PI atau PID. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa jenis pengendali yang sesuai untuk nilai *setpoint* 40 dan 60 adalah pengendali PI dengan nilai K_p 13 dan nilai T_i 20. Grafik dan tabel perbandingan respon pengendali PI pada *setpoint* 40 dan 60 dapat dilihat pada Gambar 20 dan Tabel 2.



Gambar 20. Grafik perbandingan respon pengujian PI

Tabel 2. Hasil perbandingan pengujian respon PI

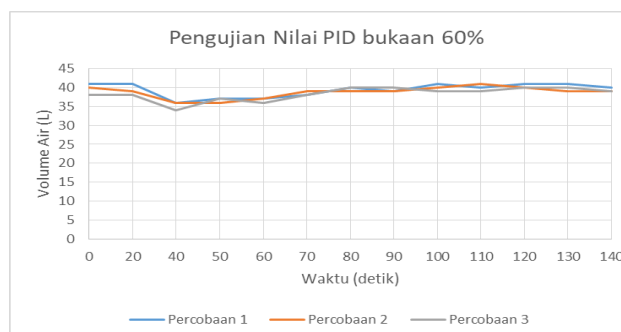
Respon	Setpoint 40	Setpoint 60
Overshoot	3	3
Rising time (s)	140	180
Steady state error	-	-

2.4 Pengujian Sistem dengan Input Berubah

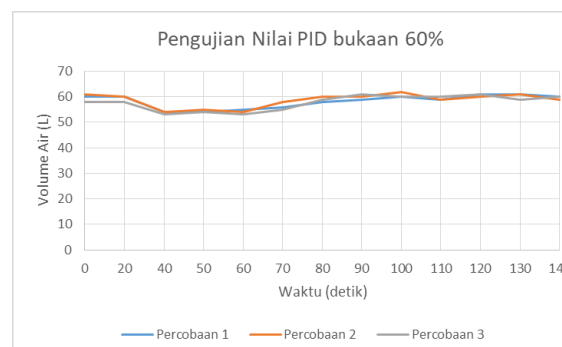
Pengujian sistem dengan *input* berubah mensimulasikan jika adanya gangguan dari *input*. Simulasi ini dilakukan dengan cara mengubah bukaan *control valve* atas menjadi 60%, dan 50%. Pengujian dilakukan setelah sistem sebelumnya dalam keadaan stabil dan dibutuhkan waktu ± 40 detik untuk proses putar *control valve*.

2.4.1 Pengujian nilai kendali dengan bukaan 60%

Pengujian dengan bukaan 60% dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap nilai *setpoint* yang dapat dilihat pada Gambar 21 dan Gambar 22.



Gambar 21. Pengujian bukaan 60% untuk *setpoint* 40

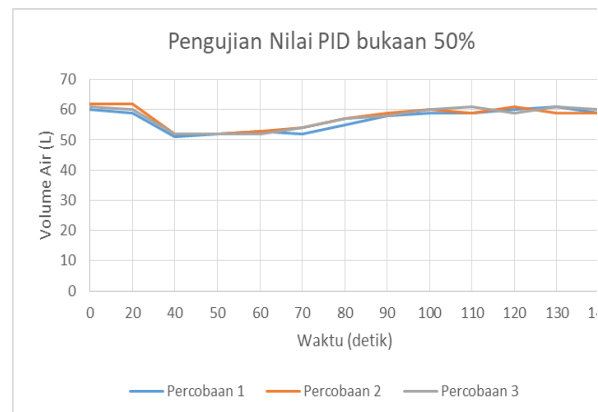
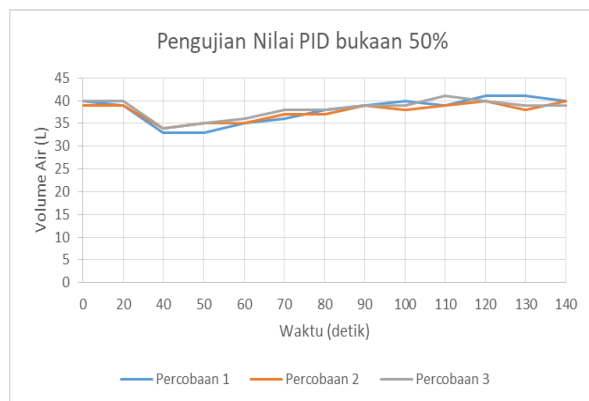


Gambar 22. Pengujian bukaan 60% untuk *setpoint* 60

Berdasarkan hasil pengujian untuk bukaan 60% pada *setpoint* 60 dibutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai keadaan stabil, dan waktu untuk mencapai titik *level* terendah relatif lebih lama dibandingkan dengan *setpoint* 40. Pada pengujian bukaan 60% sistem berhasil mencapai keadaan stabil kembali pada kedua nilai *setpoint*. Berdasarkan hasil pengujian untuk *setpoint* 40 dibutuhkan waktu rata-rata 76 detik untuk mencapai keadaan stabil, sedangkan pada *setpoint* 60 membutuhkan rata-rata 86 detik untuk mencapai keadaan stabil.

2.4.2 Pengujian nilai kendali dengan bukaan 50%

Pengujian dengan bukaan 50% dapat dilihat pada Gambar 23 dan Gambar 24. Pada pengujian bukaan 50% sistem berhasil mencapai keadaan stabil kembali pada kedua nilai *setpoint*. Berdasarkan hasil pengujian untuk *setpoint* 40 dibutuhkan waktu rata-rata 93 detik untuk mencapai keadaan stabil, sedangkan pada *setpoint* 60 membutuhkan rata-rata 100 detik untuk mencapai keadaan stabil. Dapat disimpulkan pada *setpoint* 60 dibutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai keadaan stabil dibandingkan dengan *setpoint* 40.



Gambar 23. Pengujian bukaan 50% untuk *setpoint* 40

Gambar 24. Pengujian bukaan 50% untuk *setpoint* 60

3. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisis diperoleh simpulan sebagai berikut :

1. Pengendalian yang dilakukan PI dapat bekerja dengan baik (nilai *overshoot* kecil, *settling time* cepat, dan *steady state error* kecil) pada set point 40 dan 60 sedangkan pengendali PID bekerja dengan baik hanya pada *setpoint* 40.
2. Level ketinggian air yang dihasilkan memiliki toleransi sebesar $\pm 10\%$ terhadap nilai *setpoint*.

PUSTAKA

- Astrom, K. J. and Hagglund, T. 2000. *PID Controllers: Theory, Design, and Tuning*, 2nd ed. New York: Instrument Society of America
- Boyer, S. A. 2006. *SCADA Supervisory Control and Data Acquisition*, 3rd ed. New York: ISA
- De Silva, C.W. 2007. *Sensors and Actuators: Control System Instrumentation*. Florida: Taylor & Francis Group
- Setiawan, I. 2006. *Programmable Logic Controller dan Teknik Perancangan Sistem Kontrol*. Yogyakarta : Andi
- Simbolon, J. 2013. Level Transmitter, (Online), (http://jonsonsimbolonimbang.blogspot.co.id/2013/08/leveltransmitter_4156.html, diakses 3 Maret 2018)

STUDI ALIRAN DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN SULAWESI SELATAN

Jeremias Leda¹, Simon Patabang²

^{1, 2} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Makassar
Jalan Tanjung Alang No. 23, Makassar
Telp. (0411) 871038

E-mail: je.leda@uajm.ac.id, spatabang@gmail.com

ABSTRAK

Studi aliran daya dimaksudkan untuk mengetahui besar tegangan dan sudut fasa serta daya aktif dan daya reaktif pada setiap bus pada suatu sistem tenaga listrik. Penelitian ini merupakan studi aliran daya pada jaringan kelistrikan Sulawesi Selatan sehubungan dengan operasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Sidrap berkapasitas 75 MW yang menyebabkan perubahan aliran daya. Perhitungan numerik menggunakan metoda Newton-Raphson dengan bantuan program MATLAB. Hasil perhitungan memperlihatkan bahwa perubahan tegangan terbesar terjadi pada bus Poso yakni sebesar 0,03 pu. Semua bus mengalami pergeseran sudut fasa dengan pergeseran terbesar juga pada bus Poso yakni 43,580 derajat. Line losses terbesar terjadi pada saluran transmisi yang menghubungkan Tallasa-Jeneponto sekitar 4,7 MW dengan total losses berkurang signifikan sebesar 2,282 MW. Hasil tersebut diperoleh dengan menentukan Poso sebagai slack/swing bus.

Kata Kunci: Aliran Daya, Newton-Raphson, Sulawesi Selatan

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

1.1.1 Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan

Kebutuhan pengembangan sistem kelistrikan didorong oleh kebutuhan akan rencana operasi yang ekonomis dan rencana investasi yang efisien sehingga harus didasarkan pada perencanaan yang baik. Studi aliran daya merupakan dasar pengembangan suatu sistem tenaga listrik. Studi aliran daya adalah penentuan atau perhitungan tegangan, arus dan faktor daya atau daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik dalam suatu jaringan listrik pada keadaan normal, baik yang sedang berjalan maupun yang diharapkan akan terjadi dimasa yang akan datang. Studi aliran daya sangat penting dalam perencanaan pengembangan suatu sistem untuk masa yang akan datang, karena pengoperasian yang baik banyak tergantung pada diketahuinya efek interkoneksi dengan sistem tenaga yang lain, beban yang baru terpasang, stasiun pembangkit baru, serta saluran transmisi baru sebelum semuanya itu dipasang (Stevenson Jr, 1990:6).

Perkembangan terkini pada sistem kelistrikan Sulawesi Selatan tahun 2018 adalah beroperasinya Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di wilayah pegunungan Pabbassang Desa Mattirotasi Tasi, Kecamatan Watang Pulu, Kabupaten Sidrap. Interkoneksi PLTB Sidrap dengan kapasitas 75 MW sudah tentu memberi pengaruh pada sistem kelistrikan Sulawesi Selatan. Dalam dokumen RUPTL PLN 2016-2025:449, PLTB Sidrap telah direncanakan sebagai salah satu pembangkit listrik di Sulawesi Selatan. Oleh karena itu diperlukan studi aliran daya terkini yang dapat digunakan sebagai bahan perbandingan serta evaluasi sehubungan dengan beroperasinya PLTB Sidrap 75 MW pada sistem kelistrikan Sulawesi Selatan.

1.1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada bagian latar belakang maka rumusan masalah penelitian adalah bagaimanakah perubahan tegangan, sudut fasa, daya aktif, daya reaktif pada berbagai bus serta rugi-rugi pada saluran transmisi sistem kelistrikan Sulawesi Selatan sehubungan dengan beroperasinya PLTB Sidrap 75 MW ?

1.1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

- Menghitung besar tegangan, sudut fasa, daya aktif dan daya reaktif pada setiap bus dalam sistem interkoneksi kelistrikan Sulawesi Selatan sehubungan dengan beroperasinya PLTB Sidrap 75 MW.
- Menghitung rugi-rugi daya pada saluran transmisi atau *line losses*.

1.2 Tinjauan Pustaka

Penyelesaian analisis aliran daya menggunakan metoda *Gauss-Seidel* memberikan hasil yang cepat dan akurat, I Putu S A, (2004), tetapi hanya cocok untuk sistem tenaga listrik dengan jumlah bus sedikit. Firdaus & Susanto, F., (2014), melakukan penelitian tentang studi aliran daya pada sistem Sulawesi Selatan dan Barat dengan menggunakan program ETAP (*Electrical Power System Analysis Program*). Sedangkan A. M. Shiddiq Yunus, et.al, 2014, membahas tentang *power flow of electrical interconnection system of Sulselrahar system*.

Untuk mendapatkan penyelesaian persamaan aliran daya suatu sistem tenaga listrik diasumsikan beroperasi dalam keadaan setimbang. Empat parameter diasosiasikan dengan setiap bus yaitu besar tegangan $|V|$, sudut fasa δ , daya aktif P dan daya reaktif Q . Bus diklasifikasikan menjadi: *slack/swing bus* dimana besar tegangan $|V|$ dan sudut fasa δ diketahui, *load bus* dimana daya aktif P dan daya reaktif Q diketahui serta *generator bus* dimana sudut fasa δ dan daya aktif P diketahui. Terdapat beberapa metoda penyelesaian persamaan aliran daya namun pada penelitian ini digunakan metoda Newton-Raphson.

1.2.1 Solusi Aliran Daya Dengan Metoda Newton-Raphson

Pada sistem interkoneksi dengan n buah bus, apabila diketahui P_k dan Q_k maka tegangan pada setiap bus k dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_k = \frac{1}{V_{kk}} \left(\frac{P_k - jQ_k}{V_k^*} - \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \right) \quad (1)$$

di mana $n \neq k$. Pada suatu bus tertentu dimana diberikan besar tegangan dan bukannya daya reaktif, unsur nyata dan khayal tegangan didapat dengan cara menghitung nilai daya reaktif terlebih dahulu. Dari persamaan (1) dapat diperoleh persamaan berikut:

$$P_k - jQ_k = \left(Y_{kk} V_k + \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \right) \times V_k^* \quad (2)$$

Apabila $n = k$ maka:

$$P_k - jQ_k = V_k^* \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \quad (3)$$

$$Q_k = -\text{Im} \left\{ V_k^* \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \right\} \quad (4)$$

Proses pemecahan persamaan aljabar linier semacam ini dikenal sebagai iterasi (Stevenson Jr, 1990:184-185). Penerapan metoda Newton-Raphson dapat digunakan bersama tegangan bus dan admitansi saluran transmisi yang berbentuk polar maupun rectangular. Jika berbentuk polar maka:

$$V_k = |V_k| \angle \delta_k \quad V_n = |V_n| \angle \delta_n \quad Y_{kn} = |Y_{kn}| \angle \theta_{kn} \quad (5)$$

Sehingga diperoleh:

$$P_k - jQ_k = \sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \angle (\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \quad (6)$$

$$P_k = \sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \cos(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \quad (7)$$

$$Q_k = -\sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \sin(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \quad (8)$$

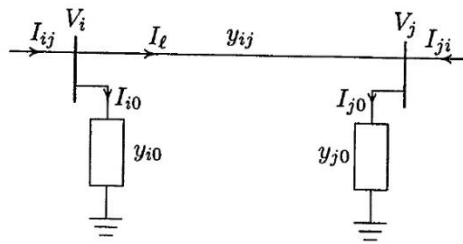
Nilai P_k dan Q_k telah diketahui tetapi nilai V_k dan δ_k belum diketahui kecuali pada *slack/swing bus*. Persamaan non-linier (7) dan (8) dapat diuraikan menjadi suatu set persamaan linier simultan dengan cara menyatakan hubungan antara perubahan daya nyata ΔP_k dan daya reaktif ΔQ_k terhadap perubahan besar tegangan ΔV_k dan perubahan sudut fasa $\Delta \delta_k$ berikut ini.

$$\begin{bmatrix} \Delta P_k \\ \Delta Q_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_k \\ |V_k| \end{bmatrix} \quad (9)$$

Elemen-elemen matriks Jacobian dapat dihitung menggunakan persamaan (7) dan (8) pada setiap tahap iterasi dimulai dengan perkiraan nilai *initial* tegangan dan sudut fasa. Perubahan-perubahan dalam daya nyata ΔP_k dan daya reaktif ΔQ_k dihitung berapa selisih antara nilai yang ditetapkan dan hasil perhitungan dengan metoda invers kemudian proses iterasi berlanjut hingga memenuhi nilai toleransi yang ditetapkan.

1.2.2 Aliran Daya Dan Rugi-rugi Pada Saluran Transmisi

Setelah perhitungan solusi iteratif tegangan bus maka tahap berikutnya adalah perhitungan aliran daya dan *losses* pada saluran transmisi. Perhatikan saluran transmisi yang menghubungkan bus i dan bus j berikut ini.



Gambar 1. Model saluran transmisi untuk perhitungan aliran daya

Arus saluran terukur pada bus i didefinisikan dengan polaritas positif pada arah $i \rightarrow j$ dinyatakan sebagai

$$I_{ij} = I_l + I_{i0} = y_{ij}(V_i - V_j) + y_{i0}V_i \quad (10)$$

Demikian pula arus terukur pada bus j didefinisikan dengan polaritas positif pada arah $j \rightarrow i$ dinyatakan sebagai

$$I_{ji} = -I_l + I_{j0} = y_{ij}(V_j - V_i) + y_{j0}V_j \quad (11)$$

Daya kompleks S_{ij} dari bus i ke bus j dan S_{ji} dari bus j ke bus i dirumuskan sebagai

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad (12)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \quad (13)$$

Sehingga dengan demikian rugi-rugi daya atau *losses* pada saluran transmisi dinyatakan sebagai jumlah aljabar (Hadi Saadat:212) dari persamaan (12) dan (13) yakni:

$$S_{Lij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (14)$$

1.3 Metodologi Penelitian

Penelitian ini merupakan simulasi menggunakan program komputer yaitu program MATLAB. Program penyelesaian aliran daya yang digunakan adalah *lfnewton* yang dijalankan bersama-sama dengan *lfbus*, *busout* dan *lineflow* (by Hadi Saadat:1998) dan telah melalui pengujian atau *testing* menggunakan IEEE 30 bus system dan 41 section transmission line dengan tahapan sebagai berikut:

- Data preparation* mencakup bus data dan line data yang diambil dari *single line diagram* sistem sulselrabar kondisi normal tahun 2015.
- Perhitungan aliran daya Newton-Raphson dilakukan dengan terlebih dahulu menentukan *basemva*, *accuracy*, *acceleration factor* dan *maximum iteration* dengan skenario *full load operation*.
- Nilai awal setiap bus harus diinput dalam bus data file.
- Setelah data lengkap dipersiapkan maka program dapat dijalankan.
- Hasil perhitungan ditampilkan di layar monitor komputer.

2. PEMBAHASAN

2.1 Representasi Data

Pemilihan format *bus data file* disesuaikan sedemikian sehingga dapat menampung informasi untuk seluruh bus yang diperlukan pada setiap kolom yakni besar tegangan $|V|$, sudut fasa δ , daya aktif P dan daya reaktif Q termasuk *shunt capacitor*. Setiap bus harus diberi kode, yakni 1 digunakan untuk *slack/swing bus*, 2 digunakan untuk *generator bus* dan 0 digunakan untuk *load bus*. Demikian pula format *line data file* harus disesuaikan dengan kebutuhan untuk menampung parameter saluran transmisi yakni resistansi R , reaktansi X dan setengah *line charging susceptance* $\frac{1}{2}B$ dalam per-unit sesuai MVA dasar serta data transformer tap setting. Bus data dan line data yang diolah oleh penulis dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2 pada bagian *data sheet*.

2.2 Interpretasi Hasil Perhitungan

Penyelesaian aliran daya dalam penelitian ini dilakukan dengan memilih bus Poso sebagai *slack/swing bus* karena merupakan *generation bus* yang jaraknya paling jauh dari pusat beban yang berada di kota Makassar.

Hasil perhitungan berikut memperlihatkan kondisi tegangan dan sudut fasa berbagai bus pada sistem kelistrikan Sulawesi Selatan tanpa (*without*) dan dengan (*with*) interkoneksi PLTB Sidrap 75 MW.

Solution by Newton-Raphson Method

--- Without PLTB Sidrap			With PLTB Sidrap		-----
Bus No.	Voltage Mag. (pu)	Angle Degree	Voltage Mag. (pu)	Angle Degree	Nominal Voltage kV
1	1.090	0.000	1.090	8.630	150
2	1.031	-0.240	1.032	6.230	150
3	0.993	-1.981	0.994	4.492	150
4	0.926	-5.183	0.927	1.294	150
5	1.010	1.854	1.010	6.870	150
6	1.020	2.740	1.022	5.993	150
7	1.030	3.128	1.030	6.402	150
8	1.030	-0.548	1.030	2.257	150
9	1.028	-5.409	1.028	-3.077	150
10	1.050	-5.674	1.050	-3.377	150
11	1.044	-5.478	1.044	-3.191	150
12	1.070	-5.164	1.070	-2.922	150
13	1.141	-5.661	1.141	-3.419	150
14	1.121	-6.134	1.121	-3.891	70
15	1.066	-5.326	1.066	-3.084	150
16	1.035	-5.173	1.035	-2.996	150
17	1.053	-4.233	1.054	-2.056	150
18	1.070	-0.569	1.070	1.563	150
19	1.030	7.325	1.030	9.267	150
20	1.025	4.901	1.025	6.697	150
21	1.010	3.168	1.010	4.792	150
22	1.002	3.416	1.002	4.943	150
23	1.010	5.564	1.010	6.949	150
24	1.030	7.525	1.030	8.855	150
25	1.011	5.266	1.016	6.485	150
26	0.976	20.775	1.002	1.539	150
27	1.010	27.415	1.010	0.465	150
28	1.030	43.580	1.000	0.000	150
29	1.006	3.122	1.012	4.530	150
30	1.067	-5.292	1.067	-3.049	30
31	1.010	-5.096	1.010	-2.821	70
32	1.013	-5.528	1.013	-3.230	70
33	1.012	-5.515	1.012	-3.229	70

Pada solusi tersebut, besar tegangan bus $|V|$ bervariasi antara 0,096 – 1.141 per unit dengan perubahan terjadi pada bus nomor 2, 3, 4, 6, 17, 25, 26, 28 dan 29. Perubahan terbesar pada bus nomor 28 yakni pengurangan 0,03 per unit dimana relatif cukup kecil. Namun demikian semua bus mengalami pergeseran sudut fasa δ . Pergeseran terbesar terjadi pada bus nomor 28 yakni sebesar 43,580 derajat. Sementara itu aliran daya aktif P dan daya reaktif Q antar bus juga berubah dengan total daya yang dibangkitkan generator sebagai berikut:

Sebelum Interkoneksi PLTB Sidrap 75 MW

Slack/Swing		-----Load-----		---Generation---		Injected
No Bus	Total	MW	Mvar	MW	Mvar	Mvar
28 Poso		1054.000	790.500	1084.232	670.548	170.000

Setelah Interkoneksi PLTB Sidrap 75 MW

Slack/Swing		-----Load-----		---Generation---		Injected
No Bus	Total	MW	Mvar	MW	Mvar	Mvar
28 Poso		1054.000	790.500	1081.950	663.079	170.000

Terdapat perubahan total daya P yang dibangkitkan oleh seluruh generator sebelum dan sesudah interkoneksi PLTB Sidrap yakni berkurang sebesar 2,282 MW serta juga daya Q berkurang sebesar 7,469 Mvar.

Demikian pula *line losses* terjadi perubahan. Secara total *line losses* berkurang sebesar 2,282 MW dengan *losses* terbesar pada *section* 18 – 19 sedangkan pengurangan *losses* paling banyak terjadi pada *section* 27 – 28.

Sebelum Interkoneksi PLTB Sidrap 75 MW							
Slack/Swing		-----Line	Losses-----	Losses Terbesar		Section	
No Bus	Total	MW	Mvar	MW	Mvar	Line	
28 Poso		30.232	49.946	4.639	14.589	18-19	
Setelah Interkoneksi PLTB Sidrap 75 MW							
Slack/Swing		-----Line	Losses-----	Losses Terbesar		Section	
No Bus	Total	MW	Mvar	MW	Mvar	Line	
28 Poso		27.950	42.477	4.638	14.583	18-19	

Sebelum Interkoneksi PLTB Sidrap 75 MW							
Slack/Swing		-----Line	Losses-----			Section	
No Bus		MW	Mvar			Line	
28 Poso		2.209	5.616			27-28	
Setelah Interkoneksi PLTB Sidrap 75 MW							
Slack/Swing		-----Line	Losses-----			Section	
No Bus		MW	Mvar			Line	
28 Poso		0.029	-2.215			27-28	

3. KESIMPULAN

3.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil perhitungan aliran daya dan *line losses* adalah bahwa setelah interkoneksi PLTB Sidrap 75 MW, terjadi perubahan aliran daya akibat perubahan pada besar tegangan $|V|$, sudut fasa δ , daya aktif P , daya reaktif Q dan rugi-rugi saluran transmisi pada sistem kelistrikan Sulawesi Selatan yakni:

- Perubahan tegangan bus $|V|$ terjadi pada bus nomor 2, 3, 4, 6, 17, 25, 26, 28 dan 29. Perubahan terbesar pada bus nomor 28 yakni terjadi pengurangan sebesar 0,03 pu.
- Semua bus mengalami pergeseran sudut fasa δ dengan pergeseran terbesar pada bus nomor 28 sebesar 43,580 derajat.
- Line losses* terbesar terjadi pada *section* 18 - 19 yakni saluran transmisi Tallasa – Jeneponto.
- Dengan bus Poso sebagai *slack/swing bus* maka total *line losses* berkurang secara signifikan.

3.2 Saran

- Hasil penelitian ini dapat dipergunakan oleh pihak-pihak yang membutuhkan sebagai bahan evaluasi dan perbandingan.
- Hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai gambaran dasar bagi studi-studi lainnya seperti analisis hubung singkat dan analisis stabilitas.

PUSTAKA

- A.M. Shiddiq Yunus, et.al, 2014, *Power Flow of Electrical Interconnection System of Sulselrabar System 2014*, Makassar International Conference on Electrical Engineering and Informatics MICEEI 2014, Universitas Hasanuddin Makassar, 26-30 November.
- Firdaus, Susanto, F., 2014, Studi Aliran Daya Pada Sistem Sulawesi Selatan Dan Barat Dengan Menggunakan Program ETAP 4.0, *NALAR*, Vol. 7, No.1, Hal. 736-744.
- Hadi Saadat, *Power System Analysis*, USA: McGraw Hill, 1999.
- I Putu Suka Arsa., 2004., *Penerapan Metode Gauss Seidel Untuk Meningkatkan Kualitas Perkuliahan Jaringan Distribusi Melalui Pembelajaran Berbasis Komputer (Matlab).*, Jurnal Pendidikan dan Pengajaran IKIP Negeri Singaraja.
- Stevenson, Jr. William D., 1990, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, 4th ed. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- RUPTL PLN 2016-2025, Keputusan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 5899 K / 20 / MEM / 2016 tentang Pengesahan Rencana Penyediaan Tenaga Listrik PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2016 s.d. 2025, Jakarta: ESDM.

DATA SHEET

Tabel 1. Bus Data

Bus			Load		Generation		Injected			Remark
No	Code	Name	MW	Mvar	MW	Mvar	Qmin	Qmax	Mvar	
1	2	Bakaru	16	12	129					150 kV
2	0	Polmas	16	12						150 kV
3	0	Majene	16	12						150 kV
4	0	Mamuju	24	18						150 kV
5	2	Pinrang	24.8	18.6	0.8					150 kV
6	0	Parepare	36.8	27.6						150 kV
7	2	Suppa			64.8					150 kV
8	2	Barru	16	12	50					150 kV
9	0	Pangkep	99.6	74.7					50	150 kV
10	0	Bosowa	36.8	27.6						150 kV
11	0	Kima	24	18						150 kV
12	2	Tello	48	36	205.32					150 kV
13	0	Tallo Lama	48	36					40	150 kV
14	0	Bontoala	48	36						70 kV
15	0	Panakukang	48	36						150 kV
16	0	TanjungBunga	96	72						150 kV
17	0	Sungguminasa	72	54						150 kV
18	2	Talasa			115					150 kV
19	2	Jeneponto	40	30	200					150 kV
20	0	Bulukumba	24	18					30	150 kV
21	2	Sinjai	24	18	10					150 kV
22	0	Bone	56	42					30	150 kV
23	2	Soppeng	24	18	15					150 kV
24	2	Sengkang	24	18	195					150 kV
25	0	Sidrap	40	30	75					150 kV
26	0	Makale	24	18						150 kV
27	2	Palopo	24	18	9					150 kV
28	1	Poso			195					275 kV
29	0	Maros	24	18						150 kV
30	0	Barawaja	8	6						30 kV
31	2	Borongloe	24	18	20					70 kV
32	0	Mandai	32	24						70 kV
33	0	Daya	16	12					20	70 kV
Total			1,054.0	790.5	1,283.9	-	-	-	170	

Data diolah dari *Single Line Diagram* Kondisi Normal 2015
PT. PLN (Persero) Sulselbar


Tabel 2. Line Data


Bus From	Bus To	R (pu)	X (pu)	B/2 (pu)	Bus From	Bus To	R (pu)	X (pu)	B/2 (pu)
1	2	0.02627	0.09440	0.00743	9	12	0.01090	0.03919	0.00493
1	5	0.03076	0.11023	0.01012	9	32	0.01090	0.03919	0.00493
2	3	0.02630	0.09451	0.00744	16	17	0.00354	0.02128	0.00271
2	6	0.03663	0.13159	0.01819	17	18	0.00485	0.03324	0.00627
3	4	0.07342	0.26379	0.02076	17	29	0.02717	0.18617	0.03512
5	6	0.01388	0.04974	0.00670	18	19	0.03333	0.11974	0.00942
6	7	0.00393	0.01413	0.00111	19	20	0.02431	0.08733	0.00687
6	8	0.02314	0.08290	0.01116	20	21	0.07195	0.25851	0.02035
6	25	0.01002	0.03599	0.00283	20	22	0.07195	0.25851	0.02035
8	9	0.02419	0.08667	0.01167	21	22	0.04064	0.14603	0.01149
9	10	0.01090	0.03919	0.00493	22	23	0.02289	0.08153	0.00804
9	11	0.01090	0.03919	0.00493	23	24	0.01053	0.06335	0.00807
10	12	0.01683	0.06049	0.00761	23	25	0.02821	0.10138	0.00964
11	12	0.01090	0.03919	0.00493	24	25	0.01090	0.03919	0.00493
12	13	0.00363	0.01300	0.00175	25	29	0.01090	0.03919	0.00493
12	17	0.00192	0.01318	0.00249	25	26	0.03137	0.18876	0.02406
12	15	0.00236	0.00848	0.00067	26	27	0.01959	0.07038	0.00554
13	14	0.02023	0.03714	0.00011	27	28	0.04064	0.14603	0.01149
12	30	0.01090	0.03919	0.00493	31	32	0.01090	0.03919	0.00493
12	31	0.01090	0.03919	0.00493	31	33	0.01090	0.03919	0.00493
					32	33	0.01090	0.03919	0.00493

Data diolah dari *Line Impedance* dan *Single Line Diagram* Kondisi Normal 2015
PT. PLN (Persero) Sulselbar



Tabel 3. Line Impedance Data

<div>PT. PLN (PERSERO) WIL. SULSEL & SULTRA AP2B SISTEM SULAWESI SELATAN Jl. Letjen Hertasning Makassar, 90222</div>						DATA IMPEDANSI PENGHANTAR								
						REVISI : 19 DESEMBER 2005								
GI	LINE	KV	1L/2L	TIPE	km	TOTAL IMPEDANSI SALURAN (pu)			IMPEDANSI PER-LINE (pu)			TOTAL IMPEDANSI (Ohm / Mho)		
						URUTAN POSITIF			URUTAN POSITIF			URUTAN POSITIF		
						R	X	Y/2	R	X	Y/2	R	X	Y/2
BARRU	PNKEP	150	1L	240e	46.00	0.02419	0.08667	0.01167	0.02419	0.08667	0.011668	5.442	19.501	0.00005
BKARU	PRANG	150	1L	240d	58.50	0.03076	0.11023	0.01012	0.03076	0.11023	0.010118	6.921	24.802	0.00004
BKARU	PWALI	150	1L	240a	50.10	0.02627	0.09440	0.00743	0.02627	0.09440	0.007430	5.911	21.240	0.00003
BKRPH	BKARU	150	2L	240a	1.00	0.00052	0.00188	0.00015	0.00105	0.00377	0.000074	0.118	0.434	0.00000
BONE	BLKMB	150	1L	240a	137.20	0.07195	0.25851	0.02035	0.07195	0.25851	0.020347	16.188	58.165	0.00009
BONE	BLKMB	150	1L	240a	137.20	0.07195	0.25851	0.02035	0.07195	0.25851	0.020347	16.188	58.165	0.00009
BONE	SNJAI	150	1L	240a	77.50	0.04064	0.14603	0.01149	0.04064	0.14603	0.011493	9.144	32.856	0.00005
BSOWA	TELLO	150	1L	240c	32.10	0.01683	0.06049	0.00761	0.01683	0.06049	0.007611	3.786	13.609	0.00003
PNKEP	BSOWA	150	1L	240c	20.80	0.01090	0.03919	0.00493	0.01090	0.03919	0.004932	2.453	8.819	0.00002
PNKEP	TELLO	150	2L	240e	45.30	0.02382	0.08535	0.01149	0.04764	0.17071	0.005745	5.359	19.205	0.00005
PPARE	BARRU	150	1L	240e	44.00	0.02314	0.08290	0.01116	0.02314	0.08290	0.011161	5.205	18.654	0.00005
PPARE	PNKEP	150	2L	240e	90.00	0.04732	0.16958	0.02283	0.09464	0.33916	0.011414	10.647	38.155	0.00010
PPARE	SUPPA	150	2L	240a	7.50	0.00393	0.01413	0.00111	0.00787	0.02826	0.000556	0.885	3.180	0.00000
PRANG	PPARE	150	1L	240e	26.40	0.01388	0.04974	0.00670	0.01388	0.04974	0.006696	3.123	11.192	0.00003
PWALI	MJENE	150	2L	240a	50.16	0.02630	0.09451	0.00744	0.02631	0.09402	0.003719	5.918	21.265	0.00003
PWALI	PPARE	150	1L	240g	91.90	0.03663	0.13159	0.01819	0.03663	0.13159	0.018192	8.242	29.608	0.00008
SDRAP	PPARE	150	2L	240a	19.10	0.01002	0.03599	0.00283	0.02003	0.07198	0.001416	2.254	8.097	0.00001
SGMSA	TLLSA	150	2L	430b	27.50	0.00485	0.03324	0.00627	0.00970	0.06649	0.003136	1.091	7.480	0.00003
SKANG	SPENG	150	2L	430a	35.40	0.01053	0.06335	0.00807	0.02106	0.12670	0.004036	2.369	14.253	0.00004
SNJAI	BLKMB	150	1L	240a	59.70	0.03131	0.11249	0.00885	0.03131	0.11249	0.008854	7.044	25.310	0.00004
SPENG	BONE	150	2L	240f	43.27	0.02289	0.08153	0.00804	0.04576	0.16306	0.004018	5.150	18.344	0.00004
SPENG	SDARP	150	2L	240e	53.80	0.02821	0.10138	0.00964	0.05643	0.20275	0.004820	6.348	22.809	0.00004
TELLO	PKANG	150	2L	240a	4.50	0.00236	0.00848	0.00067	0.00472	0.01696	0.000334	0.531	1.908	0.00000
TELLO	SGMSA	150	2L	430b	10.90	0.00192	0.01318	0.00249	0.00385	0.02635	0.001243	0.433	2.965	0.00001
TELLO	TLAMA	150	2L	240e	6.90	0.00363	0.01300	0.00175	0.00726	0.02600	0.000875	0.816	2.925	0.00001
DAYA	TELLO	70	1L	120a	5.00	0.02408	0.04421	0.00013	0.02408	0.04421	0.000133	1.180	2.166	0.00000
MNDIAI	MAROS	70	1L	120a	28.30	0.13631	0.25024	0.00075	0.13631	0.25024	0.000754	6.679	12.262	0.00002
MNDIAI	DAYA	70	1L	120a	7.10	0.03420	0.06278	0.00019	0.03420	0.06278	0.000189	1.676	3.076	0.00000
MNDIAI	TELLO	70	1L	120a	12.10	0.05828	0.10699	0.00032	0.05828	0.10699	0.000322	2.856	5.243	0.00001
PNKEP	MAROS	70	1L	120a	17.00	0.08188	0.15032	0.00045	0.08188	0.15032	0.000453	4.012	7.366	0.00001
PNKEP	MNDIAI	70	2L	120a	37.70	0.18159	0.33335	0.00100	0.36318	0.66671	0.000502	8.898	16.334	0.00002
PNKEP	TNSA3	70	2L	120a	3.40	0.01638	0.03006	0.00009	0.03275	0.06013	0.000045	0.802	1.473	0.00000
TELLO	BRLOE	70	1L	120a	12.60	0.06069	0.11141	0.00034	0.06069	0.11141	0.000336	2.974	5.459	0.00001
TLAMA	BNTLA	70	2L	XLPE	4.20	0.02023	0.03714	0.00011	0.04046	0.07428	0.000055	0.991	1.820	0.00000
TELLO	BWAJA	30	1L	120e	3.70	0.12292	0.17508	0.00002	0.12292	0.17508	0.000020	1.106	1.676	0.00000
BILI2	BRLOE	20	2L	A3C	12.79	0.57795	0.51820	-	1.15590	1.03640	-	2.312	2.073	-

 PT. PLN (PERSERO) WIL. SULSEL & SULTRA AP2B SISTEM SULAWESI SELATAN Jl. Letjen Hertasning Makassar, 90222						DATA IMPEDANSI PENGHANTAR REVISI : 19 DESEMBER 2005								
GI	LINE	KV	1L/2L	TIPE	km	TOTAL IMPEDANSI SALURAN (pu)			IMPEDANSI PER-LINE (pu)			TOTAL IMPEDANSI (Ohm / Mho)		
						URUTAN POSITIF			URUTAN POSITIF			URUTAN POSITIF		
						R	X	Y/2	R	X	Y/2	R	X	Y/2
BKARU	ERKNG	150	2L	240a	8.00	0.00420	0.01507	0.00119	0.00839	0.03015	0.000593	0.944	3.392	0.00001
BLKMB	JNPTO	150	2L	240a	46.35	0.02431	0.08733	0.00687	0.04861	0.17466	0.003437	5.469	19.649	0.00003
JNPTO	TIP57	150	2L	240a	34.49	0.01809	0.06498	0.00511	0.03617	0.12996	0.002557	4.069	14.621	0.00002
MALEA	MKALE	150	2L	430b	30.00	0.00529	0.03627	0.00684	0.01058	0.07253	0.003421	1.191	8.160	0.00003
MAROS	SGMSA	150	2L	430a	154.00	0.02717	0.18617	0.03512	0.05433	0.37234	0.017560	6.112	41.888	0.00016
MJENE	MMUJU	150	1L	240a	140.00	0.07342	0.26379	0.02076	0.07342	0.26379	0.020762	16.519	59.352	0.00009
MKALE	PLOPO	150	2L	240a	37.35	0.01959	0.07038	0.00554	0.03917	0.14076	0.002770	4.407	15.835	0.00002
PLOPO	WOTU	150	2L	430a	120.00	0.03569	0.21474	0.02737	0.07138	0.42948	0.013683	8.030	48.317	0.00012
PLTUJ	TIP57	150	2L	430b	10.00	0.00176	0.01209	0.00228	0.00353	0.02418	0.001140	0.397	2.720	0.00001
PLUTU	TLLSA	150	2L	240a	8.00	0.00420	0.01507	0.00119	0.00839	0.03015	0.000593	0.944	3.392	0.00001
SDRAP	MAROS	150	2L	430b	36.00	0.00617	0.04231	0.00798	0.01235	0.08462	0.003991	1.389	9.520	0.00004
SDRAP	MKALE	150	2L	430a	105.45	0.03137	0.18876	0.02406	0.06274	0.37753	0.012028	7.058	42.472	0.00011
SGMSA	TBNGA	150	2L	430a	11.85	0.00354	0.02128	0.00271	0.00707	0.04256	0.001356	0.796	4.788	0.00001
SIWA	PLOPO	150	2L	240a	95.00	0.04982	0.17500	0.01409	0.09964	0.35800	0.007044	11.209	40.275	0.00006
SKANG	SIWA	150	2L	240a	65.00	0.03409	0.12247	0.00964	0.06817	0.24495	0.004820	7.669	27.556	0.00004
TLLSA	JNPTO	150	2L	240a	63.55	0.03333	0.11974	0.00942	0.06665	0.23948	0.004712	7.498	26.942	0.00004
TLLSA	TIP57	150	2L	430b	29.06	0.00513	0.03514	0.00663	0.01025	0.07027	0.003314	1.154	7.506	0.00003
WOTU	MULI	150	2L	240a	50.00	0.02622	0.09421	0.00742	0.05244	0.18842	0.003708	5.900	21.197	0.00003
TBNGA	BNTLA	70	2L	240a	15.00	0.00797	0.02826	0.00222	0.01573	0.05653	0.001112	1.770	6.359	0.00001



Sumber: RUPTL PLN 2016-2025

Gambar 3. Peta Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method

Sebelum Interkoneksi PLTB Sidrap 75 MW

Line Flow and Losses

--Line-- from to	Power at bus & line flow MW	Mvar	MVA	--Line loss-- MW	Mvar	Transformer tap
1	113.000	114.506	160.875			
2	63.936	49.821	81.055	1.472	3.617	
5	49.064	64.685	81.188	1.747	4.026	
2	-16.000	-12.000	20.000			
1	-62.463	-46.204	77.695	1.472	3.617	
3	41.367	29.553	50.839	0.650	0.811	
6	5.096	4.651	6.900	0.024	-3.748	
3	-16.000	-12.000	20.000			
2	-40.717	-28.742	49.839	0.650	0.811	
4	24.717	16.742	29.853	0.717	-1.258	
4	-24.000	-18.000	30.000			
3	-24.000	-18.000	30.000	0.717	-1.258	
5	-24.000	-90.712	93.833			
1	-47.317	-60.658	76.931	1.747	4.026	
6	23.317	-30.053	38.038	0.191	-0.697	
6	-36.800	-27.600	46.000			
2	-5.072	-8.399	9.812	0.024	-3.748	
5	-23.126	29.357	37.371	0.191	-0.697	
7	-64.569	-44.301	78.306	0.231	0.596	
8	74.841	-29.969	80.618	1.426	2.762	
25	-18.874	25.712	31.895	0.099	-0.230	
7	64.800	44.896	78.834			

	6	64.800	44.896	78.834	0.231	0.596	
8		34.000	9.562	35.319			
	6	-73.414	32.731	80.380	1.426	2.762	
	9	107.414	-23.169	109.885	2.740	7.348	
9		-99.600	-24.700	102.617			
	8	-104.674	30.518	109.032	2.740	7.348	
	10	14.208	-2.506	14.428	0.020	-1.015	0.978
	11	9.729	14.325	17.316	0.031	-0.970	0.978
	12	-35.685	-101.567	107.653	1.185	3.176	
	32	16.822	34.483	38.367	0.156	-0.466	
10		-36.800	-27.600	46.000			
	9	-14.188	1.491	14.266	0.020	-1.015	
	12	-22.612	-29.091	36.846	0.200	-0.992	
11		-24.000	-18.000	30.000			
	9	-9.698	-15.295	18.110	0.031	-0.970	
	12	-14.302	-2.730	14.561	0.020	-1.055	0.978
12		157.320	512.195	535.810			
	10	22.812	28.099	36.193	0.200	-0.992	
	11	14.322	1.675	14.420	0.020	-1.055	
	13	96.870	33.616	102.537	0.290	0.580	0.932
	17	-107.421	150.261	184.709	0.574	3.376	
	15	48.075	36.115	60.129	0.075	0.115	
	30	8.009	4.906	9.392	0.009	-1.094	
	31	37.783	152.748	157.352	2.374	7.467	
	9	36.870	104.743	111.043	1.185	3.176	
13		-48.000	4.000	48.166			
	12	-96.580	-33.036	102.074	0.290	0.580	
	14	48.580	37.036	61.088	0.580	1.036	
14		-48.000	-36.000	60.000			
	13	-48.000	-36.000	60.000	0.580	1.036	
15		-48.000	-36.000	60.000			
	12	-48.000	-36.000	60.000	0.075	0.115	
16		-96.000	-72.000	120.000			
	17	-96.000	-72.000	120.000	0.474	2.259	
17		-72.000	-54.000	90.000			
	12	107.995	-146.885	182.313	0.574	3.376	
	16	96.474	74.259	121.744	0.474	2.259	
	18	-216.106	-14.683	216.605	2.049	12.632	
	29	-60.362	33.308	68.942	1.231	0.953	
18		115.000	99.005	151.747			
	17	218.156	27.315	219.859	2.049	12.632	
	19	-103.156	71.691	125.621	4.639	14.589	
19		160.000	-64.894	172.659			
	18	107.795	-57.101	121.985	4.639	14.589	
	20	52.205	-7.793	52.783	0.636	0.834	
20		-24.000	12.000	26.833			
	19	-51.569	8.627	52.286	0.636	0.834	
	21	13.905	0.040	13.905	0.136	-3.725	
	22	13.664	3.333	14.064	0.148	-3.646	
21		-14.000	0.820	14.024			
	20	-13.770	-3.765	14.275	0.136	-3.725	
	22	-0.230	4.585	4.591	0.013	-2.278	

22		-56.000	-12.000	57.271		
	20	-13.515	-6.979	15.211	0.148	-3.646
	21	0.244	-6.863	6.867	0.013	-2.278
	23	-42.728	1.842	42.768	0.418	-0.138
23		-9.000	-30.835	32.122		
	22	43.146	-1.980	43.192	0.418	-0.138
	24	-58.195	-22.127	62.260	0.396	0.706
	25	6.049	-6.729	9.048	0.019	-1.906
24		171.000	35.040	174.553		
	23	58.592	22.832	62.883	0.396	0.706
	25	112.408	12.208	113.069	1.315	3.697
25		-40.000	-30.000	50.000		
	6	18.973	-25.942	32.140	0.099	-0.230
	23	-6.029	4.823	7.721	0.019	-1.906
	24	-111.094	-8.511	111.419	1.315	3.697
	29	86.400	-12.466	87.294	0.806	1.889
	26	-28.249	12.095	30.730	0.308	-3.013
26		-24.000	-18.000	30.000		
	25	28.558	-15.109	32.308	0.308	-3.013
	27	-52.558	-2.891	52.637	0.545	0.842
27		-15.000	32.672	35.951		
	26	53.103	3.733	53.234	0.545	0.842
	28	-68.103	28.939	73.996	2.209	5.616
28		70.312	-23.323	74.079		
	27	70.312	-23.323	74.079	2.209	5.616
29		-24.000	-18.000	30.000		
	17	61.593	-32.355	69.574	1.231	0.953
	25	-85.593	14.355	86.789	0.806	1.889
30		-8.000	-6.000	10.000		
	12	-8.000	-6.000	10.000	0.009	-1.094
31		-4.000	-166.985	167.033		
	12	-35.410	-145.281	149.534	2.374	7.467
	32	15.597	-11.343	19.285	0.039	-0.870
	33	15.813	-10.361	18.905	0.037	-0.875
32		-32.000	-24.000	40.000		
	9	-16.666	-34.950	38.720	0.156	-0.466
	31	-15.558	10.473	18.754	0.039	-0.870
	33	0.224	0.477	0.527	0.000	-1.010
33		-16.000	8.000	17.889		
	31	-15.776	9.487	18.409	0.037	-0.875
	32	-0.224	-1.487	1.504	0.000	-1.010
Total loss				30.232	49.946	

Setelah Interkoneksi PLTB Sidrap 75 MW

Line Flow and Losses

--Line--	Power at bus & line flow	--Line loss--	Transformer
from to	MW Mvar MVA	MW Mvar	tap
1	113.000 114.295 160.724		
	2 63.935 49.610 80.925	1.468 3.600	
	5 49.065 64.685 81.188	1.747 4.026	

2		-16.000	-12.000	20.000			
	1	-62.468	-46.010	77.583	1.468	3.600	
	3	41.367	29.548	50.836	0.650	0.809	
	6	5.101	4.462	6.777	0.023	-3.753	
3		-16.000	-12.000	20.000			
	2	-40.716	-28.739	49.837	0.650	0.809	
	4	24.716	16.739	29.851	0.716	-1.261	
4		-24.000	-18.000	30.000			
	3	-24.000	-18.000	30.000	0.716	-1.261	
5		-24.000	-91.573	94.665			
	1	-47.318	-60.658	76.931	1.747	4.026	
	6	23.318	-30.914	38.722	0.198	-0.672	
6		-36.800	-27.600	46.000			
	2	-5.078	-8.215	9.658	0.023	-3.753	
	5	-23.119	30.242	38.067	0.198	-0.672	
	7	-64.579	-41.239	76.623	0.221	0.560	
	8	74.825	-29.457	80.415	1.418	2.732	
	25	-18.849	21.068	28.269	0.078	-0.308	
7		64.800	41.799	77.111			
	6	64.800	41.799	77.111	0.221	0.560	
8		34.000	9.020	35.176			
	6	-73.407	32.188	80.154	1.418	2.732	
	9	107.407	-23.168	109.877	2.740	7.347	
9		-99.600	-24.700	102.617			
	8	-104.667	30.515	109.025	2.740	7.347	
	10	14.207	-2.506	14.426	0.020	-1.015	0.978
	11	9.727	14.326	17.316	0.031	-0.970	0.978
	12	-35.688	-101.566	107.653	1.185	3.176	
	32	16.821	34.484	38.367	0.156	-0.466	
10		-36.800	-27.600	46.000			
	9	-14.187	1.491	14.265	0.020	-1.015	
	12	-22.613	-29.091	36.846	0.200	-0.992	
11		-24.000	-18.000	30.000			
	9	-9.696	-15.295	18.110	0.031	-0.970	
	12	-14.304	-2.729	14.562	0.020	-1.055	0.978
12		157.320	511.482	535.129			
	10	22.813	28.099	36.194	0.200	-0.992	
	11	14.324	1.674	14.421	0.020	-1.055	
	13	96.870	33.616	102.537	0.290	0.580	0.932
	17	-107.428	149.550	184.136	0.570	3.352	
	15	48.075	36.115	60.129	0.075	0.115	
	30	8.009	4.906	9.392	0.009	-1.094	
	31	37.784	152.748	157.352	2.374	7.467	
	9	36.873	104.742	111.043	1.185	3.176	
13		-48.000	4.000	48.166			
	12	-96.580	-33.036	102.074	0.290	0.580	
	14	48.580	37.036	61.088	0.580	1.036	
14		-48.000	-36.000	60.000			
	13	-48.000	-36.000	60.000	0.580	1.036	
15		-48.000	-36.000	60.000			
	12	-48.000	-36.000	60.000	0.075	0.115	
16		-96.000	-72.000	120.000			
	17	-96.000	-72.000	120.000	0.474	2.259	

17		-72.000	-54.000	90.000		
	12	107.998	-146.199	181.763	0.570	3.352
	16	96.474	74.259	121.744	0.474	2.259
	18	-216.086	-14.412	216.566	2.048	12.624
	29	-60.386	32.353	68.507	1.214	0.826
18		115.000	98.718	151.559		
	17	218.134	27.037	219.803	2.048	12.624
	19	-103.134	71.681	125.598	4.638	14.583
19		160.000	-64.895	172.660		
	18	107.772	-57.098	121.963	4.638	14.583
	20	52.228	-7.797	52.807	0.637	0.836
20		-24.000	12.000	26.833		
	19	-51.592	8.633	52.309	0.637	0.836
	21	13.914	0.037	13.914	0.136	-3.724
	22	13.678	3.329	14.077	0.149	-3.645
21		-14.000	0.821	14.024		
	20	-13.778	-3.762	14.283	0.136	-3.724
	22	-0.222	4.583	4.588	0.013	-2.278
22		-56.000	-12.000	57.271		
	20	-13.529	-6.974	15.221	0.149	-3.645
	21	0.235	-6.860	6.864	0.013	-2.278
	23	-42.706	1.834	42.745	0.418	-0.140
23		-9.000	-32.878	34.088		
	22	43.124	-1.974	43.169	0.418	-0.140
	24	-58.149	-22.136	62.220	0.396	0.703
	25	6.026	-8.768	10.639	0.027	-1.882
24		171.000	29.684	173.557		
	23	58.545	22.838	62.842	0.396	0.703
	25	112.455	6.846	112.663	1.305	3.659
25		35.000	-30.000	46.098		
	6	18.927	-21.376	28.551	0.078	-0.308
	23	-5.999	6.886	9.132	0.027	-1.882
	24	-111.150	-3.186	111.196	1.305	3.659
	29	86.402	-11.660	87.185	0.801	1.867
	26	46.820	-0.663	46.825	0.667	-0.887
26		-24.000	-18.000	30.000		
	25	-46.153	-0.224	46.154	0.667	-0.887
	27	22.153	-17.776	28.403	0.154	-0.570
27		-15.000	21.025	25.828		
	26	-22.000	17.206	27.929	0.154	-0.570
	28	7.000	3.819	7.974	0.029	-2.215
28		-6.970	-6.034	9.219		
	27	-6.970	-6.034	9.219	0.029	-2.215
29		-24.000	-18.000	30.000		
	17	61.601	-31.527	69.199	1.214	0.826
	25	-85.601	13.527	86.663	0.801	1.867
30		-8.000	-6.000	10.000		
	12	-8.000	-6.000	10.000	0.009	-1.094
31		-4.000	-166.985	167.033		
	12	-35.411	-145.281	149.534	2.374	7.467
	32	15.597	-11.343	19.286	0.039	-0.870
	33	15.813	-10.361	18.906	0.037	-0.875

32		-32.000	-24.000	40.000		
	9	-16.665	-34.950	38.720	0.156	-0.466
	31	-15.559	10.473	18.755	0.039	-0.870
	33	0.224	0.477	0.527	0.000	-1.010
33		-16.000	8.000	17.889		
	31	-15.776	9.487	18.409	0.037	-0.875
	32	-0.224	-1.487	1.504	0.000	-1.010
Total loss					27.950	42.477

PEMBELAJARAN SCADA BAGI MAHASISWA TEKNIK ELEKTRO UNTUK MENJAWAB TANTANGAN DAN PELUANG REVOLUSI INDUSTRI 4.0

Th. Prima Ari Setiyani¹, Martanto²

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta
Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta
Telp. (0274) 883037, 883968

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta
Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta
Telp. (0274) 883037, 883968
E-mail: ariprima@usd.ac.id, martanto@usd.ac.id,

ABSTRAK

Pembelajaran SCADA adalah sebuah proses belajar mengajar yang bertujuan agar mahasiswa mampu membangun sistem SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) modern. Proses berbentuk sebuah mata kuliah yang berisi materi pembelajaran tentang bagaimana mengintegrasikan piranti sensor, aktuator, mesin kontrol dan manusia melalui internet. Penguasaan SCADA merupakan landasan untuk membangun Industrial Internet of Things (IIoT) yang menjadi salah satu bagian dari Revolusi Industri 4.0. Ada 3 materi dasar yang diajarkan yaitu pemrograman PLC (Programmable Logic Controller) sebagai kontroler beserta sensor dan aktuatornya, pemrograman HMI sebagai antarmuka antara manusia dengan mesin dan sistem komunikasi data melalui internet sebagai media komunikasi data antara PLC dan HMI. Penelitian ini menghasilkan RPS untuk pembelajaran SCADA yang terdiri atas teori tentang SCADA (2 pertemuan x 3 jam), cara membangun HMI menggunakan Wonderware Intouch v.2014R2 (6 pertemuan x 3 jam), cara memprogram PLC Modicon M221 (3 pertemuan x 3 jam) serta Komunikasi InTouch dengan PLC via I/O Server Modbus TCP IP (MBENET). Metode pembelajaran SCADA yang digunakan adalah metode kelas laboratorium. Evaluasi yang digunakan untuk mengetahui kemampuan mahasiswa adalah persoalan sistem kendali berbasis project. Melalui pembelajaran SCADA hasil UAS menunjukkan 80 % mahasiswa memahami dan mampu membangun sebuah sistem SCADA dan mengimplementasikannya dalam sebuah sistem kendali.

Kata Kunci: pembelajaran SCADA, PLC, HMI, MBENET

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Revolusi industri 4.0 merupakan era digital ketika semua mesin terhubung melalui sistem internet atau *cyber system*. Sejak tahun 2011, dunia telah memasuki Revolusi Industri 4.0, yang ditandai dengan meningkatnya konektivitas, interaksi, dan batas antara manusia, mesin, dan sumber daya lainnya yang semakin konvergen melalui teknologi informasi dan komunikasi. Ada 5 teknologi utama yang menopang pembangunan sistem Industri 4.0, yaitu *Internet of Things*, *Artificial Intelligence*, *Human-Machine Interface*, teknologi robotik dan sensor, serta teknologi 3D Printing. (Kementerian Perindustrian RI, 2018).

Indonesia telah berkomitmen untuk membangun industri manufaktur yang berdaya saing global melalui percepatan implementasi Industri 4.0. Hal ini ditandai dengan peluncuran Making Indonesia 4.0 sebagai sebuah road map dan strategi Indonesia memasuki era digital yang tengah berjalan saat ini. Making Indonesia 4.0 merupakan upaya untuk mengintegrasikan dan mengimplementasikan sejumlah strategi dalam memasuki era Industri 4.0. Guna mencapai sasaran tersebut, diperlukan langkah kolaboratif yang melibatkan beberapa pemangku kepentingan, mulai dari institusi pemerintahan, asosiasi dan pelaku industri, hingga unsur akademisi. (Kementerian Perindustrian RI, 2018).

Menjawab tantangan sekaligus peluang tersebut Perguruan Tinggi khususnya program studi Teknik Elektro bertanggung jawab untuk mempersiapkan lulusan yang mempunyai daya saing di bidang industri karena mereka akan bekerja di industri era industri 4.0. Industri di era industri 4.0 pada dasarnya adalah industri yang mengintegrasikan dan mengimplementasikan *Industrial Internet of Things (IIoT)*. Industri otomasi yang mengintegrasikan antara prosesor sebagai kontroler dengan sejumlah sensor dan aktuator serta melakukan transfer data ke dan dari *Human-Machine Interface* melalui internet. Salah satu upaya yang telah dilakukan Prodi Teknik Elektro USD untuk menjawab tantangan sekaligus peluang tersebut adalah mengembangkan pembelajaran SCADA yang merupakan bentuk sistem kontrol proses jarak jauh dengan memanfaatkan media internet.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan permasalahan topik ini adalah :

Bagaimana susunan sebuah RPS (Rencana Pembelajaran Semester) yang berisi materi perkuliahan dan metode pembelajaran SCADA, serta evaluasinya yang menjamin ketercapaian kemampuan mahasiswa mengintegrasikan dan mengimplementasikan sebuah sistem SCADA sebagai landasan untuk membangun *Industrial IoT* sehingga mampu menjawab peluang dan tantangan revolusi industri 4.0 ?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai adalah menyusun RPS (Rencana Pembelajaran Semester) yang berisi materi perkuliahan dan metode pembelajaran SCADA, serta evaluasinya yang menjamin ketercapaian kemampuan mahasiswa mengintegrasikan dan mengimplementasikan sebuah sistem SCADA yang mampu menjawab peluang dan tantangan revolusi industri 4.0.

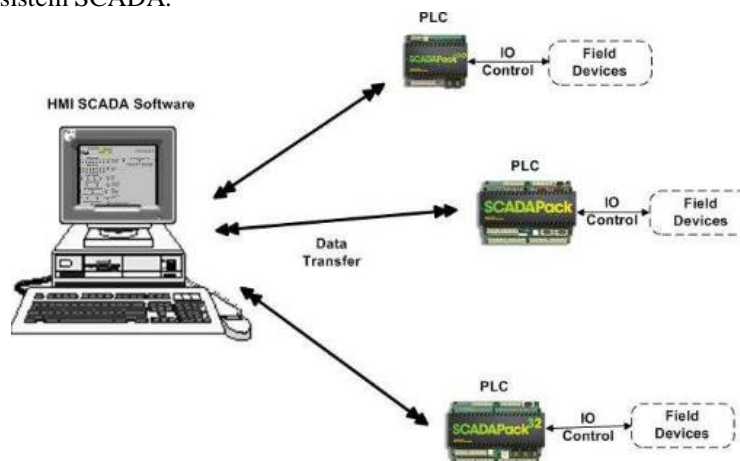
1.4 Tinjauan Pustaka

Sistem SCADA ialah “sistem yang dapat melakukan pengawasan, pengendalian dan akuisisi data terhadap sebuah *plant*”. Proses pengendalian terhadap aktuator sistem dilakukan oleh kontroler dengan cara membaca status seperangkat sensor yang terdapat pada sistem tersebut, mengolah data sensor dan menghasilkan sebuah keputusan berupa pergerakan aktuator. Untuk bisa membaca data maka terlebih dahulu harus dilakukan proses akuisisi data sensor supaya format datanya sesuai dengan kontroler dan aktuator. Proses pengawasan dilakukan oleh manusia melalui HMI (*Human Machine Interface*). HMI berperan menyajikan proses data ke manusia, sehingga melalui HMI manusia dapat mengawasi dan mengendalikan proses.

Komponen penyusun sistem SCADA dapat dilihat pada Gambar 1, yang terdiri dari atas:

- f. Sensor dan aktuator (Field Devices)
- g. Remote Terminal Unit (RTU) / PLC
- h. Sistem Komunikasi
- i. Master Terminal Unit (MTU)
- j. HMI

Sistem SCADA menggunakan komputer sebagai Master terminal untuk mengolah data-data yang dikirimkan dari PLC dan menampilkan beragam informasi yang dibutuhkan dalam HMI. Informasi yang ditampilkan berupa status dari *field devices* yang terdiri dari sensor dan aktuator dalam suatu *plant* dalam bentuk grafik, menyimpannya dalam *database*, bahkan menampilkannya melalui situs *web*. Umumnya komputer ini terhubung dengan sebuah pengendali misalnya PLC melalui sebuah protokol komunikasi tertentu misalnya. Gambar 1 menunjukkan skema sistem SCADA.



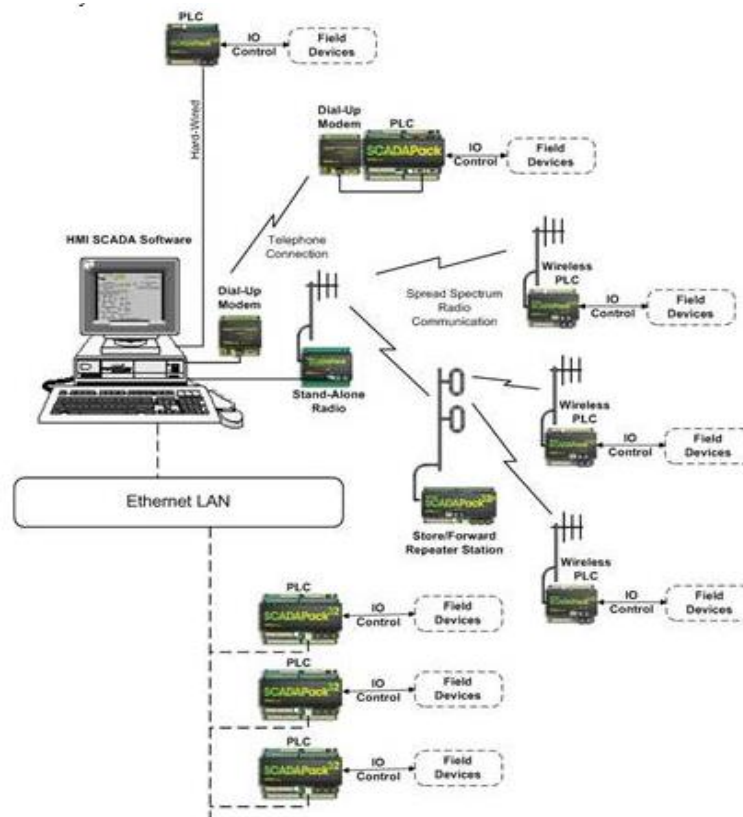
Gambar 1. Skema sistem SCADA (Schneider Electric)

Sistem komunikasi yang digunakan untuk melakukan transfer data antara MTU dengan PLC dapat dilakukan melalui berbagai macam media, termasuk internet. Jika pada sebuah sistem SCADA menggunakan komunikasi untuk transfer data melalui internet maka konfigurasi sistem SCADA tersebut tampak seperti pada Gambar 2. Meskipun komunikasi telah dilakukan melalui internet namun data dan proses pengolahan datanya masih dilakukan pada memori di prosesor PC dan PLC.

Wonderware MODBUS Ethernet I/O Server (MBENET) adalah program aplikasi Microsoft Windows yang memungkinkan akses data di PLC Modicon melalui jaringan Ethernet. Server hanya memerlukan kartu jaringan Ethernet 10BaseT standar untuk mengakses jaringan Ethernet.

Protokol komunikasi menangani elemen data dalam percakapan yang menggunakan konvensi penamaan tiga bagian yang mencakup nama aplikasi (*application name*), nama topik (*Topic Name*), dan nama item (*Item Name*). **Application Name** Merupakan nama program Windows (server) yang akan mengakses elemen data.

Dalam kasus data yang datang dari atau pergi ke peralatan Modicon melalui server ini, bagian aplikasi dari alamat adalah MBENET.



Gambar 2. Skema komunikasi sistem SCADA via internet (Schneider Electric)

Topic Name merupakan Nama yang berarti dikonfigurasi di server untuk mengidentifikasi perangkat tertentu. Nama-nama ini kemudian digunakan sebagai nama topik dalam semua percakapan ke perangkat itu. Misalnya, PLC209. **Item Name** merupakan elemen data spesifik dalam topik yang ditentukan. Server mendukung nama item / *point* yang konsisten dengan konvensi penamaan *point* yang digunakan oleh PLC Modicon. Server memungkinkan pengguna memilih *Slave Type* saat pengguna mengkonfigurasi definisi topik untuk PLC. Tabel 1 berisi rentang Alamat PLC yang didukung oleh MBENET.

Tabel 1. Tipe PLC dan rentang alamat yang didukung MBENET (Wonderware, 2005:21)

PLC Type	Point Type	Range	Tag Type	Access
484	Coil	1-999	Discrete	Read/Write
	Contact	1001-1999	Discrete	Read-Only
	Input Register	3001-3999	Analog	Read-Only
	Holding Register	4001-4999	Analog	Read/Write
584/984 Micro84	Coil	1-9999	Discrete	Read/Write
	Contact	10001-19999	Discrete	Read-Only
	Input Register	30001-39999	Analog	Read-Only
	Holding Register	40001-49999	Analog	Read/Write
	* Ext Memory Register	600001-69xxxx	Analog	Read/Write
Quantum (6-Digit)	Coil	1-65536	Discrete	Read/Write
	Contact	100001-165536	Discrete	Read-Only
	Input Register	300001-365536	Analog	Read-Only
	Holding Register	400001-465536	Analog	Read/Write
	* Ext Memory Register	600001-69xxxx	Analog	Read/Write

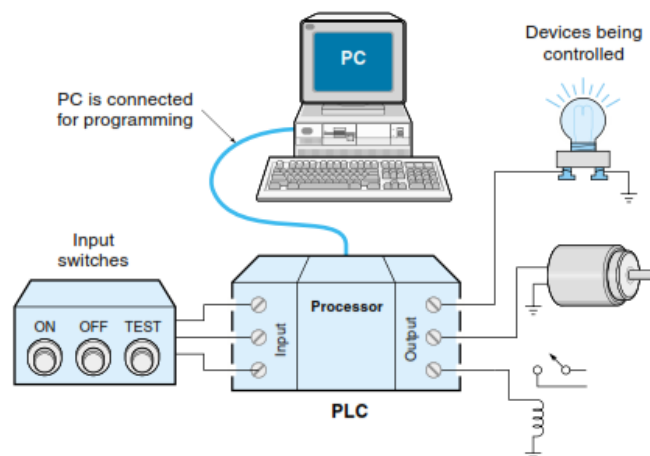
* Extended Memory Registers are supported on the Quantum (6-Digit) Automation-Series PLCs.

HMI merupakan subsistem dari SCADA yang berfungsi menampilkan data dari hasil pengukuran di RTU ataupun menampilkan proses yang sedang terjadi pada keseluruhan sistem. HMI dibangun oleh sebuah SCADA software pada computer berbasis grafis yang berfungsi untuk mempermudah pengawasan (*Supervisory*) bagi operator. HMI mengubah data-data dan angka kedalam animasi, grafik/trend, dan bentuk yang mudah dipahami oleh operator.

Ada banyak SCADA software baik yang bertipe kepemilikan maupun terbuka, antara lain *WinCC untuk PLC Siemens*, *RS View untuk PLC Allen Bradley*, *Vijeo Look untuk PLC Schneider*, maupun *Wonderware* yang dibuat oleh perusahaan non-vendor PLC dan masih banyak lainnya. SCADA Software non-vendor memiliki peningkatan popularitas karena interoperabilitas yang mereka bawa terhadap sistem. Interoperabilitas adalah kemampuan untuk mencampurkan peralatan pabrikasi pada sistem yang sama dengan merek PLC yang berbeda-beda. *Vijeo Citect* dan *WonderWare* merupakan 2 paket software terbuka yang tersedia pada pasar sistem SCADA. (Wicaksono, 2011)

PLC merupakan komputer industri khusus untuk mengawasi dan mengendalikan proses industri menggunakan bahasa pemrograman khusus untuk kontrol industri yaitu dengan *ladder diagram*. PLC didesain untuk tahan terhadap lingkungan industri yang banyak gangguan misalnya *noise*, *vibration*, *shock*, *temperature* dan *humidity*. Secara umum PLC terdiri dari Power Supply, Processor, Memory, dan modul Input Output (Killian, 2005:520).

Ada banyak jenis PLC dengan berbagai macam ukuran, kemampuan dan fitur. Salah satu jenis PLC sederhana yang mempunyai fitur *Ethernet port* adalah PLC Modicon M221 tipe TM221CE40R buatan Schneider. Adanya fitur *Ethernet port* memungkinkan PLC untuk melakukan transfer data melalui internet. Gambar 3 memperlihatkan hubungan PLC dengan peralatan lain misalnya sensor dan aktuator.



Gambar 3. Hubungan PLC dengan peralatan lain
(Kilian, 2005:522)

IoT merupakan “*advance of SCADA*” atau web SCADA, saat data sistem disimpan ke “*cloud*” sehingga antar piranti bisa saling berkomunikasi. Istilah IoT yang digunakan dalam ranah industri lebih tepat jika menggunakan istilah *IIoT (Industrial Internet of Things)*. *IIoT* mencakup semua fungsi SCADA. Dengan kata lain *IIoT* merupakan sebuah SCADA dengan tambahan kemampuan, antara lain komunikasi antar komponen pada keseluruhan sistem via internet sehingga semua piranti sistem dapat saling bertukar data. Pembelajaran sistem SCADA yang menggunakan internet untuk sistem komunikasi antara PLC dengan MHI dalam sebuah sistem SCADA dapat digunakan sebagai landasan untuk membangun *IIoT* sehingga mampu menjawab peluang dan tantangan revolusi industri 4.0

1.5 Metodologi Penelitian

Berdasarkan Permenristekdikti No 44 Tahun 2015, Pasal 12 Ayat 3, sebuah RPS terdiri atas komponen-komponen sebagai berikut :

- Informasi Mata Kuliah, meliputi: nama program studi, nama dan kode mata kuliah, semester, sks, nama dosen pengampu;
- Capaian Pembelajaran Lulusan Prodi, yang dibebankan pada mata kuliah; Tahapan Capaian Pembelajaran, kemampuan akhir yang direncanakan pada tiap tahap pembelajaran untuk memenuhi capaian pembelajaran lulusan;
- Materi perkuliahan, bahan kajian yang terkait dengan kemampuan yang akan dicapai;
- Metode Pembelajaran;
- Alokasi Waktu, waktu yang disediakan untuk mencapai kemampuan pada tiap tahap pembelajaran;

- f. Asesmen, mencakup: pengalaman belajar mahasiswa yang diwujudkan dalam deskripsi tugas yang harus dikerjakan oleh mahasiswa selama satu semester; kriteria, indikator, dan bobot penilaian;
- g. Daftar Referens

Dengan demikian metode penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

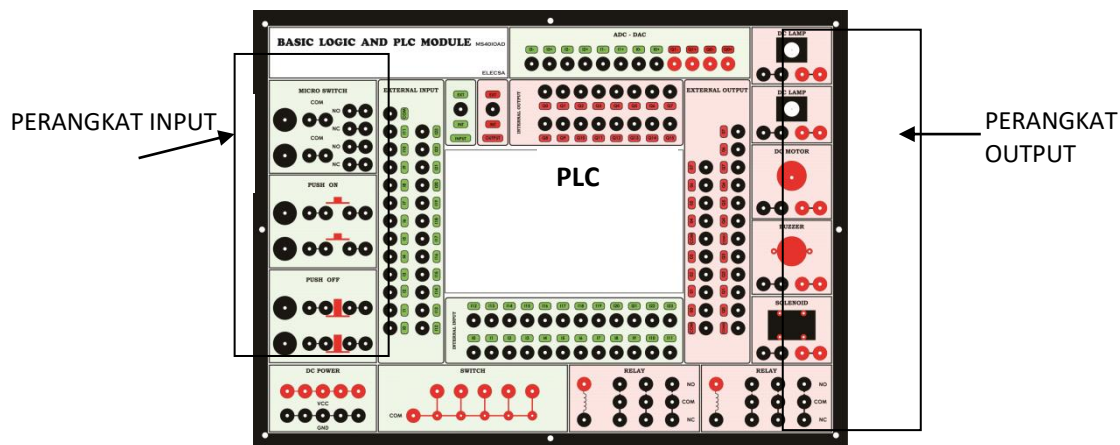
- a. Pencarian sumber pustaka yang membahas tentang sistem SCADA.
- b. Penentuan materi komponen penyusun sistem SCADA.
- c. Pemetaan sebaran materi komponen penyusun sistem SCADA dalam kurikulum mata kuliah yang sudah ada di Program Studi TE USD.
- d. Penyusunan RPS untuk pembelajaran SCADA.
- e. Penyiapan peralatan/perangkat keras.

Peralatan yang disiapkan yaitu : Komputer sebagai MTU dan monitor sebagai display HMI, Modul Lift 4 lantai sebagai *plan* yang akan dikendalikan, *Switch hub (router)*, Kabel internet dan konektor RJ45 untuk piranti komunikasi melalui internet.

- f. Penyiapan PLC Training Kit.

PLC Training Kit terdiri dari satu buah PLC Modicon M221 tipe TM221CE40R seperti gambar 4, dengan fitur tambahan sebagai berikut:

1. Saklar *input* internal (*toggle*)
2. LED indikator *output* internal
3. *Port input* eksternal
4. *Port output* eksternal
5. Perangkat *input*: *Micro switch* dan *Push Button*
6. Perangkat *output*: lampu DC, Motor DC, Buzzer, Solenoid dan Relay
7. *Port* untuk I/O analog



Gambar 4. Layout PLC Training Kit

- g. Penyiapan perangkat lunak yang dibutuhkan.

Ada 4 perangkat lunak yang dibutuhkan, yaitu :

1. Perangkat lunak sistem operasi Windows 8 atau versi di atasnya.
2. Perangkat Lunak Wonderware Intouch v.2014R2 untuk membangun HMI
3. Perangkat Lunak MBENET, untuk mengkonfigurasi komunikasi data melalui Ethernet
4. Perangkat Lunak SoMachine Basic untuk memprogram PLC M221

2. PEMBAHASAN

2.1 Bahan ajar untuk RPS pembelajaran SCADA

Dalam pembelajaran SCADA mahasiswa diharapkan mampu memahami konsep dasar sistem SCADA. Materi teori terkait pemahaman konsep dan komponen penyusun SCADA, arsitektur dan komunikasinya diberikan dalam 2 pertemuan x 3 jam. Pada pertemuan pertama ini untuk memberikan gambaran ke mahasiswa bagaimana implementasi riil sistem SCADA maka didemokan sistem SCADA untuk Lift 4 lantai.

Pada sistem SCADA, komponen RTU bisa berupa prosesor/mikroprosesor bisa juga berupa PLC. Pada pembelajaran SCADA di TE USD, sistem SCADA yang dikembangkan berbasis PLC (*Programmable Logic Controller*). Dengan demikian mahasiswa perlu dibekali dengan kemampuan memprogram PLC menggunakan diagram ladder. Pemrograman PLC dengan diagram ladder untuk kendali I/O sudah diberikan selama 1 semester (3 sks/3 JP) pada mata kuliah Kendali Terprogram. Namun PLC yang digunakan adalah OMRON type CPM2A. Tetapi karena PLC OMRON type CPM2A tidak mempunyai fitur untuk konfigurasi ke jaringan, maka

pembelajaran SCADA menggunakan PLC Modicon M221 tipe TM221CE40R yang mempunyai port Ethernet. Oleh karena itu masih dibutuhkan 3 pertemuan x 3 jam

Pertemuan pertama untuk mengenal PLC *Training Kit*-nya beserta perangkat lunak SoMachine Basic untuk memprogram PLC M221 menggunakan kontaktor NO, NC dan fungsi Timer. Pertemuan kedua memprogram PLC M221 menggunakan fungsi Counter, fungsi perpindahan data antar memori dan fungsi aritmatika. Pertemuan ketiga digunakan untuk membuat program yang terkait dengan proses kendali, animasi dan tampilan data dalam HMI.

Selanjutnya, dalam sistem SCADA harus dibangun sebuah HMI yang berfungsi menampilkan data dari hasil pengukuran di PLC ataupun menampilkan proses yang sedang terjadi pada keseluruhan sistem. HMI dibangun oleh sebuah SCADA *software* pada komputer berbasis grafis. Perangkat lunak yang digunakan adalah *Wonderware Intouch v.2014R2*. Karena mahasiswa sebelumnya belum pernah diajarkan materi ini maka dibutuhkan 6 pertemuan x 3 jam. Pertemuan pertama mahasiswa diajak untuk mengenal *Wonderware Intouch v.2014R2*, Fungsi dasar menu – *toolbar* pada *Window Maker* dan berlatih menggambar obyek pada *Window Maker*. Pertemuan kedua sampai keenam mahasiswa diberi materi tentang teori dan cara membuat *Tagname*, *Animasi*, *Script*, *Trend* dan *Alarm*.

Setelah mahasiswa mendapatkan kemampuan memprogram PLC dan membangun HMI, maka kemampuan yang harus dikuasai oleh mahasiswa adalah mengintegrasikan PLC dan HMI melalui jaringan internet. Pengetahuan tentang komunikasi data dan jaringan internet telah diberikan pada mahasiswa dalam mata kuliah Jaringan Komputer dan Komunikasi Data. Maka pada pembelajaran SCADA ini hanya dialokasikan 2 pertemuan x 3 jam untuk mempelajari dan mengimplementasikan I/O Server Modbus TCP IP (MBENET) serta Komunikasi InTouch dengan PLC via I/O Server. Pertemuan pertama mahasiswa diajak untuk mencoba membuat konfigurasi 1 PLC - 1 PC (HMI), sedangkan pertemuan kedua mahasiswa diajak untuk mencoba membuat konfigurasi Multi PLC - Multi PC (HMI). Dari uraian di atas, maka disusunlah RPS singkat seperti Tabel 2.

Tabel 2. RPS Singkat Untuk Pembelajaran SCADA

<i>Kemampuan Akhir yang Diharapkan</i>	<i>Pertemuan Ke-</i>	<i>Materi Pembelajaran (Bahan Kajian)</i>	<i>Pustaka</i>
Mahasiswa memahami keseluruhan materi yang akan dipelajari. Mahasiswa mengetahui Sistem Otomasi dengan SCADA	1	1. Review PLC dan Otomasi Sistem 2. Definisi dan Sejarah SCADA 3. Arsitektur dan Jenis – Jenis Sistem SCADA	[3]
Mahasiswa memahami konsep komunikasi data pada sistem SCADA dan Human Machine Interface	2	1. Konsep Komunikasi system SCADA 2. Tipe komunikasi data pada PLC 3. Perkembangan komunikasi data pada sistem SCADA	[3]
Mahasiswa mampu menggunakan SCADA Software (Wonderware InTouch) dan melakukan Development Environment untuk menu dasar	3 Lab	1. Pengenalan SCADA Software (Wonderware InTouch) untuk komunikasi 2. Fungsi dasar menu – toolbar pada Window Maker 3. Menggambar obyek pada Window Maker	[1] [3]
Mahasiswa mampu menggunakan SCADA Software untuk membuat Tagname, Animasi dan Script	4, 5, 6 Lab	1. Tagname 2. Animasi 3. Script	[1] [3]
Mahasiswa mampu menggunakan SCADA Software untuk membuat HMI : Trend	7 Lab	1. Fitur – fitur HMI 2. Real Time Trend 3. Historical Trend	[1] [3]
Mahasiswa mampu menggunakan SCADA Software untuk membuat HMI : Alarm	8 Lab	1. Alarm 2. Praktikum Mandiri – Membuat Distributed Alarm Display	[1] [3]
Mahasiswa mampu menggunakan Basic Trainer PLC Schneider dan menggunakan Software Modicon M221 untuk menyusun diagram ladder sebuah sistem kendali	9, 10, 11, Lab	1. Pengenalan Basic Trainer PLC 2. Pengenalan Software Modicon M221 dan fungsi-fungsi dasarnya. 3. Penyusunan diagram ladder untuk proses kendali dan animasi HMI	[1] [2]
Mahasiswa mampu membuat sistem SCADA sederhana	12, 13 Lab	1. Implementasi I/O Server Modbus TCP IP (MBENET) 2. Komunikasi InTouch dengan PLC via I/O Server	[1] [2] [3]

Selain menyusun RPS, penulis juga telah menyusun bahan ajar sebagai pustaka utama yang harus dibaca mahasiswa, materi ppt untuk presentasi di kelas serta contoh sistem SCADA yang digunakan untuk demo. Adapun pustaka selengkapnya yang disarankan untuk dibaca mahasiswa adalah :

[1] Prima, Martanto, 2017, *Bahan Ajar SCADA, TE USD*

[2] -, 2016, *Modul Pelatihan PLC Modicon M221, TE USD*

[3] Handy Wicaksono , 2011, “Dasar Pemrograman SCADA Software dengan Wonderware InTouch”, Graha Ilmu, Yogyakarta.

2.2 Metode Belajar untuk RPS pembelajaran SCADA

Agar pembelajaran SCADA ini efektif, maka metode pembelajaran yang digunakan adalah kelas laboratorium artinya proses belajar mengajar dilakukan di Laboratorium. Mahasiswa diberikan teorinya, kemudian dilanjutkan dengan praktek terbimbing. Metode ini akan efektif kalau komputer dan PLC *Training Kit*-nya sebanyak jumlah mahasiswa, atau setidaknya 1 mahasiswa 1 komputer dan 2 mahasiswa 1 PLC *Training Kit*. Jika jumlah kelas lebih dari 10 mahasiswa, maka kelas akan efektif kalau ada asisten yang membantu proses praktek terbimbing.

2.3 Evaluasi untuk RPS pembelajaran SCADA

Tujuan pembelajaran SCADA adalah menjamin ketercapaian kemampuan mahasiswa mengintegrasikan dan mengimplementasikan sebuah sistem SCADA yang mampu menjawab peluang dan tantangan revolusi industri 4.0. Oleh karena itu maka evaluasi yang digunakan untuk mengetahui kemampuan mahasiswa tersebut adalah persoalan sistem kendali berbasis project. Evaluasi dilaksanakan melalui Ujian Akhir Semester (UAS) yang dikerjakan berkelompok (2 mahasiswa/kelompok). Untuk menyelesaikan ujian tersebut mahasiswa diberi waktu selama 2 minggu mengingat cukup banyak hal yang harus dikerjakan oleh mahasiswa. Ada 5 macam judul project yang telah penulis sediakan. Terlampir 2 contoh soal ujian (Lampiran 1).

2.4 Hasil sementara Ujian Akhir Semester

Pada semester 2 Th 2017/2018 pembelajaran SCADA diikuti oleh 50 mahasiswa. Dari hasil UAS yang diikuti oleh 25 kelompok, terdapat 5 kelompok mahasiswa (20%) yang belum bisa mengintegrasikan antara PLC dan HMI melalui komunikasi Ethernet.

Selanjutnya dinilai juga kemampuan mahasiswa memprogram PLC dengan diagram ladder dan kemampuan mahasiswa membangun HMI. Hasil akhir nilai UAS dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil akhir nilai UAS Pembelajaran SCADA

<i>Klas</i>	<i>Jumlah Mhs</i>	<i>Nilai Max</i>	<i>Nilai Min</i>	<i>Rerata</i>	<i>Std Dev</i>
A	16	95	50	77.50	16.23
B	18	95	50	85.56	14.54
C	16	100	60	76.88	14.59

Dari rentang skor nilai 0 – 100, diperoleh nilai UAS individu terendah = 50; nilai individu tertinggi = 100 dan rerata nilai individu = 80,2. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa melalui pembelajaran SCADA 80 % mahasiswa memahami dan mampu mengimplementasikannya sistem SCADA dalam sebuah sistem kendali dengan komunikasi melalui internet.

3. KESIMPULAN

Dari uraian di atas, dapat dituliskan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

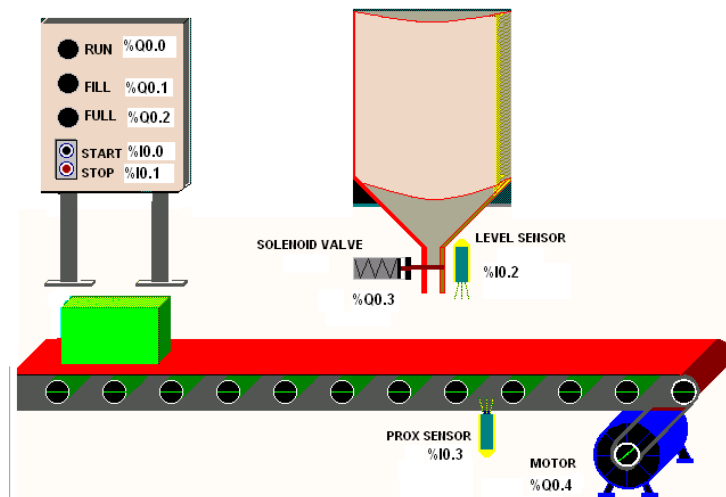
- Telah berhasil disusun RPS untuk pembelajaran SCADA yang terdiri atas teori tentang SCADA (2 pertemuan x 3 jam), cara membangun HMI menggunakan Wonderware Intouch v.2014R2 (6 pertemuan x 3 jam), cara memprogram PLC Modicon M221 (3 pertemuan x 3 jam) serta Komunikasi InTouch dengan PLC via I/O Server Modbus TCP IP (MBENET) sebanyak (2 pertemuan x 3 jam).
- Metode pembelajaran SCADA yang digunakan adalah metode kelas laboratorium
- Evaluasi yang digunakan untuk mengetahui kemampuan mahasiswa adalah persoalan sistem kendali berbasis project.
- Melalui pembelajaran SCADA 80 % lebih mahasiswa memahami dan mampu mengimplementasikan sistem SCADA dalam sebuah sistem kendali dengan komunikasi melalui internet.

PUSTAKA

- Kementerian Perindustrian RI, 2018, Making Indonesia 4.0: Strategi RI Masuki Revolusi Industri Ke-4, Siaran Pers 20/03/2018/ <http://www.kemenperin.go.id/artikel/18967/Making-Indonesia-4.0:-Strategi-RI-Masuki-Revolusi-Industri-Ke-4>, diakses tanggal 10 Mei 2018
- Kilian, C., 2005, *Modern Control Technology*, Cengage Learning
- Peraturan Menristekdikti RI No 44, 2015, *Standar Nasional Pendidikan Tinggi*, Berita Negara RI tahun 2015 Nomor 1952.
- Schneider Electric, - , *Telemetry and Remote SCADA Solution*, (online), <http://wiki.controlmicrosystems.com/pages/releaseview.action?pageId=12059505>, diakses Mei 2017)
- Wicaksono, H., 2011, *Dasar Pemrograman SCADA Software dengan Wonderware InTouch*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Wonderware, 2005, *Modicon MODBUS Ethernet I/O Server. User's Guide, Revision F*, Invensys Systems, Inc.

Lampiran 1. Contoh soal Ujian Akhir Semester

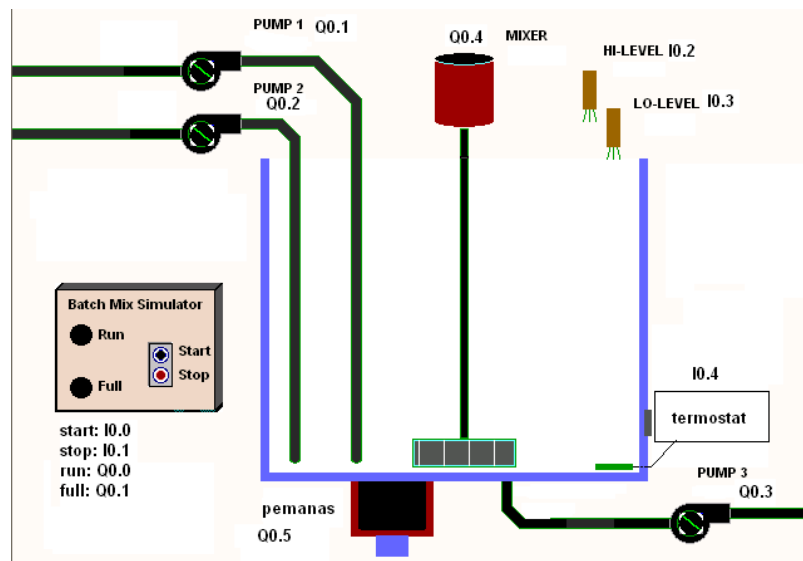
1. Nama Project : SCADA untuk Sistem Kendali Pengisian kotak



Diinginkan Proses Pengisian Kotak sbb:

- Saat tombol PB_Start ditekan sesaat, lampu RUN menyala secara berkedip, konveyor berjalan dan Pelumas akan ON selama 3 detik, solenoid valve dalam posisi tertutup (ON).
 - Konveyor akan bergerak membawa kotak kosong ke kanan dan berhenti ketika kotak telah berada di bawah tangki (lampu RUN tetap menyala). Yang men-sensing bahwa kotak telah berada di bawah tangki adalah sensor proximity (PROX SENSOR-1).
 - Saat kotak telah berada di bawah tangki, solenoid valve tangki akan terbuka (OFF).
 - Tangki akan mengisi kotak sampai penuh. Saat pengisian, lampu FILL menyala.
 - Level pengisian kotak dideteksi dengan level sensor. Jika level sensor sudah ON berarti kotak sudah penuh
 - Jika isi kotak sudah penuh, lampu FILL mati dan lampu FULL akan menyala selama 3 detik untuk memberi kesempatan operator menutup kotak, kemudian konveyor berjalan lagi.
 - Setiap sensor proximity telah mendeteksi 3 Kotak, Pelumas akan ON selama 3 detik
 - Demikian seterusnya.
 - Seluruh proses akan berhenti jika tombol PB_STOP ditekan sesaat.
1. Buat Program PLC untuk mengendalikan dan memonitor **Sistem Kendali Pengisian kotak**. Boleh menggunakan piranti I/O yang ada di modul Trainer PLC.
 2. Buat wiring dengan Input dan Output Mode Internal.
 3. Buat HMI untuk mengendalikan (Start dan Stop) serta menampilkan informasi yang diperlukan. Buat tampilan animasi yang **menarik dan kreatif**, misalnya gerakan koveyor dan kotak, level kotak, Jumlah Produk = , ON/OFF Lampu, Solenoid, sensor, Alarm, Trend, dll.
 4. Buat SCADA sistem tersebut dengan komunikasi melalui Ethernet.
 5. Tentukan piranti input dan output yang diperlukan beserta alamat PLC yang digunakan, dalam bentuk tabel.
 6. Buat Laporan Lengkap yang berisi antara lain Listing Program Ladder PLC, konfigurasi Jaringan komunikasinya, Script animasi dan hasil-hasil Runtime HMI beserta analisisnya.

2. Nama Project : SCADA untuk Sistem Kendali Pengisian dan pencampur cairan Bejana



Cara kerja plan:

- Jika tombol start ditekan sesaat, maka bejana diisi melalui pompa-1, pompa-2 dan lampu RUN menyala. Pompa-1 hanya akan mengisi selama 5 detik, sedangkan Pompa-2 akan melakukan pengisian sampai penuh (dideteksi oleh sensor Hi-Level).
 - Jika sudah penuh lampu FULL menyala, pengisian selesai kemudian pemanas dan mixer dihidupkan.
 - Mixer akan berputar selama 5 detik ke kiri dan 5 detik ke kanan secara berulang selama 5 kali. Lampu FULL tetap menyala.
 - Jika proses pengadukan dan pemanasan telah selesai, maka Mixer akan berhenti, pemanas mati, lampu FULL padam.
 - Pompa-3 akan ON sehingga memompa isi bejana keluar sampai kosong (dideteksi oleh sensor Lo-Level).
 - Proses akan berulang.
 - Jika tombol stop ditekan sesaat, sistem akan mati.
1. Buat Program PLC untuk mengendalikan dan memonitor **Sistem Kendali Pengisian dan pencampur cairan Bejana**. Boleh menggunakan piranti I/O yang ada di modul Trainer PLC. Buat wiring dengan Input Mode Internal dan Output Mode Eksternal.
 2. Buat HMI untuk mengendalikan (Start dan Stop) serta menampilkan informasi yang diperlukan. Buat tampilan animasi yang **menarik dan kreatif**, misalnya seperti Level cairan, Arah Putaran Mixer, ON/OFF Pompa/ Lampu/Pemanas, Alarm, Trend, dll.
 3. Buat SCADA sistem tersebut dengan komunikasi melalui Ethernet.
 4. Tentukan piranti input dan output yang diperlukan beserta alamat PLC yang digunakan, dalam bentuk tabel.
 5. Buat Laporan Lengkap yang berisi antara lain Listing Program Ladder PLC, konfigurasi Jaringan komunikasinya, Script animasi dan hasil-hasil Runtime HMI beserta analisisnya.

UPLINK PADA NON ORTHOGONAL MULTIPLE ACCESS

Renaldo Liojaya¹, Theresia Ghozali²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

Jalan Cisauk Raya, Sempora BSD City, Tangerang Selatan

Telp. (021) 5708826

E-mail: Renaldojoe@gmail.com, Theresia.ghozali@atmajaya.ac.id

ABSTRAK

Non Orthogonal Multiple Access (NOMA) merupakan teknologi kandidat yang akan digunakan pada 5G. NOMA merupakan perkembangan dari OFDMA yang dimodifikasi menggunakan alokasi daya, sehingga memungkinkan satu set subcarrier bisa digunakan oleh lebih dari satu pengguna dengan level daya kirim yang berbeda. Ketentuan penggunaan level daya kirim untuk masing-masing pengguna dipertimbangkan berdasarkan metode multipengguna transmit power allocation yang digunakan. Selain itu, kondisi kanal yang digunakan juga mempengaruhi besar daya kirim yang akan digunakan. Sedangkan pada sisi pengguna, diterapkan Successive Interference Cancellation (IC untuk mendeteksi sinyal yang diharapkan. Pada makalah ini disimulasikan sistem uplink dengan menggunakan NOMA dengan dua pengguna. Kanal yang digunakan adalah kanal Rayleigh dan di kanal tersebut terdapat noise AWGN yang dapat mengganggu sinyal. Simulasi juga akan dilakukan dengan 3 buah pengguna dan juga dua pengguna dengan tingkatan daya yang berbeda sampai data mengalami kesalahan. Hasil yang dicapai dalam penelitian ini adalah kembalinya data yang dikirimkan tanpa ada kesalahan, dengan demikian simulasi dapat dikatakan berhasil.

Kata Kunci:

non orthogonal multiple access, NOMA, uplink, Successive Interference Canceller, multiple access.

1. PENDAHULUAN

1.1 Tinjauan Pustaka

Peran teknologi semakin cepat di era Globalisasi ini, termasuk perkembangan akses pada jaringan. Salah satu kandidat Teknologi 5G ini memanfaatkan konsep dari *Non-Orthogonal Multiple Access* (NOMA). NOMA diharapkan dapat lebih unggul dari teknologi sebelumnya seperti:

1. *Time Division Multiple Access* (TDMA), informasi yg akan dikirim oleh setiap pengguna dikirim dalam slot waktu yang berbeda (tidak tumpang tindih) sehingga jaringan berbasis TDMA memerlukan sinkronisasi waktu yang akurat yang berdampak pada bandwidth uplink yang besar.
2. *Frequency Division Multiple Access* (FDMA), informasi untuk setiap pengguna dikirim dalam rentang frekuensi yang berbeda dan memerlukan jarak utk antar rentang frekuensi (*guard band*) dan berakibat bandwidth uplink yang besar
3. *Code division multiple access* (CDMA) membagi kanal tidak berdasarkan waktu (seperti pada TDMA) atau frekuensi (seperti pada FDMA), namun dengan cara mengkodekan data dengan sebuah kode khusus yang diasosiasikan dengan tiap kanal yang ada dan menggunakan sifat-sifat interferensi konstruktif dari kode-kode khusus itu untuk melakukan pemultipleksan.

NOMA secara dasar berbeda dengan *multiple access* yang menyediakan akses orthogonal kepada pengguna baik dalam frekuensi, waktu, kode, atau ruang. Dalam NOMA, setiap pengguna beroperasi di band yang sama dan pada saat yang sama di mana mereka dibedakan oleh tingkat daya mereka. NOMA menggunakan *superposition coding* (SC) pada pemancar dan *Successive Interference Cancellation* (SIC) pada penerima sehingga dapat memisahkan data antar pengguna.

1.2 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan terdiri dari 2 tahap yaitu:

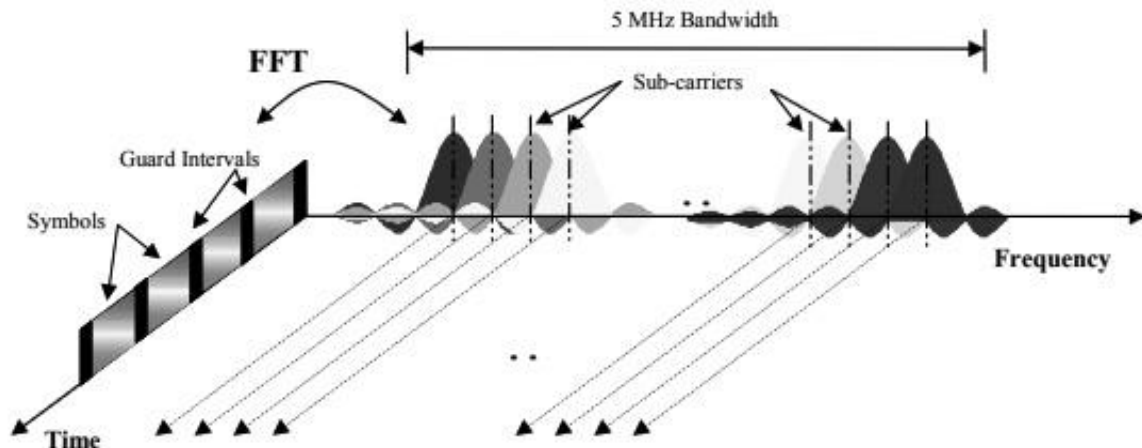
1. Studi Literatur
2. Pembuatan simulasi sistem NOMA menggunakan Perangkat Lunak MATLAB 2013

2. PEMBAHASAN.

2.1. Orthogonal Frequency Multiple Access (OFDM)

Orthogonal Frequency Division Multiplexing merupakan teknik modulasi untuk komunikasi wireless. Teknik permodulasian ini dilakukan dengan tujuan untuk menghemat lebar pita frekuensi kanal pada sistem komunikasi. Setiap *sub-carrier* pada OFDM tidak ditempatkan berdasarkan lebar pita frekuensi yang ada, tetapi *sub-carrier* tersebut disusun supaya saling tumpang tindih. Dengan mengatur jarak yang sedemikian rupa menyebabkan antar *sub-carrier* memiliki sifat yang saling orthogonal. Keorthogonalitasan diantara sub-carrier

iniilah yang menyebabkan munculnya istilah *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*. Dengan menggunakan teknik *overlapping* ini dapat menghemat bandwidth kanal sampai dengan 50%. [5]



Gambar 1. OFDM pada domain frekuensi dan domain waktu (Valbonne, 2004:10)

Pembentukan dan penguraian simbol OFDM dilakukan dengan menggunakan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) dan *Fast Fourier Transform* (FFT). Data yang dikirim berupa data serial biner berkecepatan tinggi yang telah di petakan dalam bentuk simbol, simbol tersebut yang mulanya serial kemudian dipecah atau dipisahkan menjadi bentuk paralel sehingga dihasilkan kecepatan data yang lebih rendah dibanding dengan data sebelumnya.[5] Kemudian simbol tersebut dimodulasi oleh sejumlah sinyal carrier dalam beberapa subkanal. Dengan kata lain prinsip dasar dari OFDM menggunakan teknik transmisi multicarrier.

2.1 FFT dan IFFT

Fast fourier transform(FFT) dan inverse fast fourier transform (IFFT) adalah beberapa hal yang berkaitan erat dengan OFDM. IFFT berfungsi sebagai pembuat simbol (modulator) OFDM, sedangkan FFT sebagai pengurai dari simbol OFDM (demodulator).

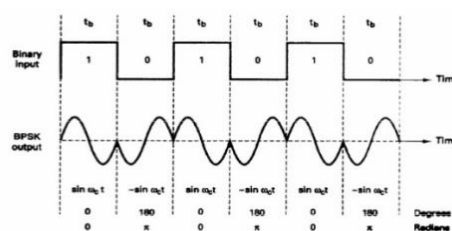
Dengan menggunakan IFFT dan FFT penggunaan OFDM akan lebih mudah karena sinyal-sinyal tersebut akan dibuat menjadi saling orthogonal dan tidak membutuhkan banyak modulator [3].

2.2 Modulasi BPSK

Modulasi BPSK adalah modulasi digital yang memiliki perbedaan fasa sebesar 180 derajat. Data biner 0 dan 1 dapat dinyatakan dengan fasa yang berbeda dalam BPSK, yaitu 0 dan π , yaitu:

$$S_1(t) = A \sin 2\pi f_c t \quad 0 \leq t \leq T \quad \text{Untuk bit 1} \dots\dots\dots(1)$$

$$S_1(t) = -A \sin 2\pi f_c t \quad 0 \leq t \leq T \quad \text{Untuk bit 0} \dots\dots\dots(2)$$



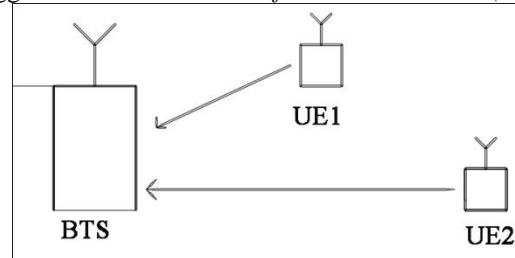
Gambar 2. Hubungan *Input* Biner dengan *Output* BPSK

Gambar 2 merupakan bentuk BPSK dari sinyal dengan biner “101010”.

2.3 Non Orthogonal Multiple Access (NOMA)

Non Orthogonal Multiple Access (NOMA) adalah teknik *multiple access* dimana satu *subcarrier* bisa digunakan lebih dari satu pengguna dengan tingkatan daya kirim yang berbeda, namun berada pada kawasan

kode, waktu, dan frekuensi yang sama. NOMA menggunakan metode *superposition coding* pada pemancar, sedangkan pada penerima menggunakan *Successive interference cancelation (SIC)*.



Gambar 3. Uplink pada NOMA

Dua pengguna akan mengirimkan datanya masing-masing ke *Base Transceiver Station (BTS)*, data yang dikirimkan akan bercampur dengan *noise* (Adaptive White Gaussian Noisedan Rayleigh fading) saat melewati kanal. Pada BTS kedua data ini akan digabungkan sehingga persamaan informasi total yang diterima BTS seperti pada persamaan 3.

$$y = P_1 h_1 x_1 + P_2 h_2 x_2 + n \dots \dots \dots (3)$$

P adalah tingkatan daya yang digunakan dimana nilai total $P_1 + P_2 = p = 1$.

h adalah koefisien kanal yang digunakan

x adalah data yang dikirimkan,

n adalah *noise* AWGN dan Rayleigh Fading

Ketentuan untuk penggunaan level daya kirim untuk masing-masing pengguna adalah pengguna yang memiliki daya +h paling besar akan didapatkan informasinya terlebih dahulu dengan menggunakan decoding OFDM dan tanpa melalui proses SIC, kemudian pengguna dengan daya yang lebih kecil daripada pengguna sebelumnya akan didapatkan informasinya dengan menggunakan SIC. Informasi total (y) akan dikurangkan dengan informasi yang sudah didapatkan sebelumnya, dengan cara menganggap informasi yang sudah didapatkan sebelumnya sebagai interferensi sehingga data didapatkan

Perbandingan akses jamak utk metoda 3G, 4G dan 5 G dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Akses jamak utk 3 G, 4G dan *Future Radio Aspect (5 G)*

	3G	3.9/4G	FRA (our view)
User multiplexing	Non-orthogonal (CDMA)	Orthogonal (OFDMA)	Non-orthogonal with SIC (NOMA)
Signal waveform	Single carrier	OFDM (or DFT-s-OFDM)	OFDM (or DFT-s-OFDM)
Link adaptation	Fast TPC	AMC	AMC + Power allocation
Image	Non-orthogonal assisted by power control 	Orthogonal between users 	Superposition & power allocation

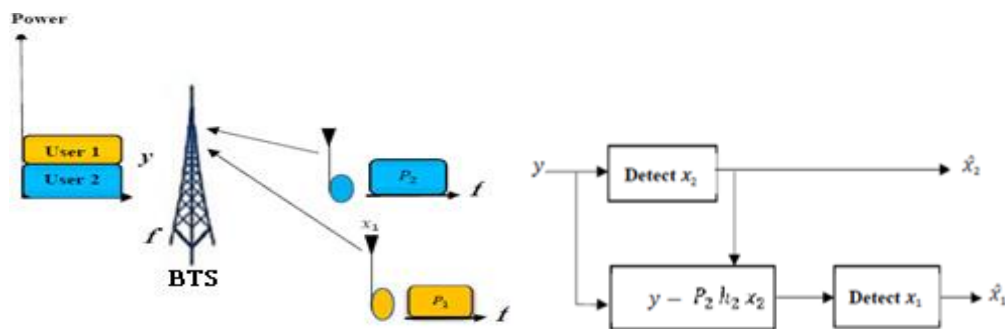
2.4 Successive Interference Cancelation (SIC)

Successive Interference Cancelation (SIC) adalah salah satu metode manajemen interferensi, SIC digunakan pada NOMA untuk mendeteksi *multi pengguna* pada sisi penerima. Dua atau lebih sinyal dari pengguna yang berbeda yang dialokasikan pada *subcarrier* yang sama akan saling bersuperposisi, sehingga untuk memecahkan masalah tersebut digunakanlah metode SIC pada masing – masing penerima. Pada gambar 4, pengguna1 mengirimkan sinyal sebesar $P_1 x_1$ dan pengguna2 mengirimkan sinyal sebesar $P_2 x_2$.

P_1 adalah daya pengguna 1 dan x_1 adalah sinyal informasi dari pengguna1. BTS akan menerima sinyal superposisi sehingga sinyal yang diterima adalah $y = P_1 x_1 h_1 + P_2 x_2 h_2$ dgn h_1 adalah gain kanal1 dan h_2 adalah gain kanal2.

Proses pada BTS sebagai berikut :

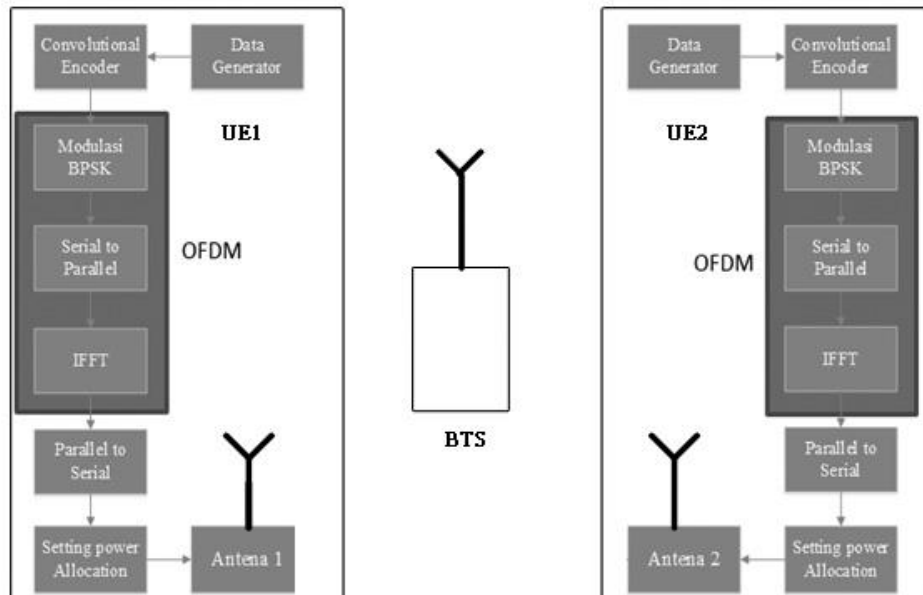
BTS akan melakukan proses demodulasi OFDM tanpa proses SIC dan akan didapatkan sinyal pengguna 1 dalam bentuk bit. Pada sinyal pengguna 1 dilakukan proses modulasi OFDM, dan sinyal tersebut adalah interferensi untuk pengguna 2. BTS akan mengurangi sinyal tersebut dari sinyal yg diterima (y) dan selanjutnya melakukan proses demodulasi untuk mendapatkan sinyal pengguna 2. Proses pengurangan inilah yang disebut *Successive Interference Cancellation*. Dengan menerapkan SIC, maka sinyal dari pengguna lain yang menginterferensi akan dihilangkan sehingga pengguna akan mendapatkan sinyal yang diharapkan.



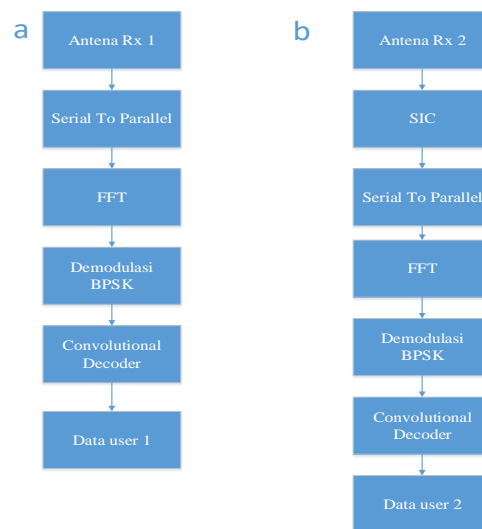
Gambar 4. Proses *Successive Interference Cancellation* ((Faeik Al Rabee,2017:2)

2.6 SIMULASI DENGAN PERANGKAT LUNAK

Diagram alir dari perancangan *Non Orthogonal Multiple Access*:



Gambar 5. Blok Diagram Sistem



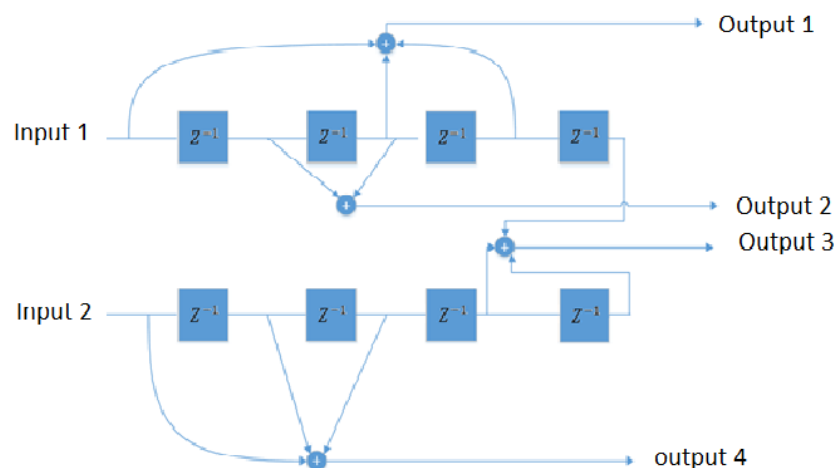
Gambar 6. Blok Diagram pada BTS

2.6.1. Bagian pada UE (Pengguna)

Pada UE (pengguna) sesuai gambar 6 terdapat Kode Konvolusi, modulasi OFDM, dan pemberian Power pada sinyal informasi dan derau AWGN.

A. Blok Kode Konvolusi

Kode konvolusi menghasilkan *codeword* dengan melewati bit-bit informasi melalui *shift register*. *Shift register* yang digunakan terdiri dari K *constraint length* dan akan menghasilkan *codeword* sebanyak n -bit untuk setiap masukan sebanyak k -bit. *Code rate* pada kode konvolusi adalah $R_c = \frac{k}{n}$ dengan nilai K adalah sepuluh, dua masukan dan delapan *shift register*. Pada sistem ini digunakan kode konvolusi yang memiliki *code rate* sebesar $\frac{2}{4}$ dan $K=4$.



Gambar 7. Blok Diagram Kode Konvolusi

B. Blok Kanal Transmisi

Kanal transmisi yang akan digunakan dalam simulasi adalah kanal dengan AWGN. Pemodelan kanal AWGN pada Matlab menggunakan syntax sebagai berikut: $n = 1/\text{sqrt}(2) * [\text{randn}(nRx, N/nTx) + j * \text{randn}(nRx, N/nTx)]$; dengan syntax diatas nilai AWGN noise yang dipakai bersifat acak, dan AWGN noise tersebut akan digabungkan dengan data yang akan dikirimkan.

C. *Power allocation*

Power allocation atau pengaturan alokasi daya digunakan dalam NOMA, alokasi daya yang akan digunakan tergantung pada nilai *gain* pada kanal yang akan digunakan. Kanal dengan *gain* tinggi akan dialokasikan daya yang tinggi, sedangkan kanal dengan *gain* rendah akan dialokasikan dengan daya yang rendah, dimana total daya yang digunakan adalah 1.

2.6.2 Proses pada BTS

Pada BTS terdapat proses *demodulasi* OFDM dan *Succesive Interference Cancellation*.

Sinyal superposisi yg diterima BTS adalah sinyal yg dikirim pengguna dan telah dikalikan dengan gain kanal. BTS telah mengetahui bahwa dari proses sebelumnya yg tidak diterangkan di makalah ini, berapa gain dari masing masing pengguna. Dalam makalah ini pengguna1 memiliki gain yg lebih besar dan power yg paling besar. Langkah yg dilakukan sebagai berikut :

- BTS melakukan proses demodulasi OFDM, data (dalam bit) yang didapatkan adalah data pengguna1,
- Data pengguna1 tersebut akan dimodulasi OFDM utk mendapatkan sinyal OFDM pengguna1 yang akan menjadi sinyal interferensi bagi pengguna2.
- Sinyal superposisi yang diterima BTS akan dikurangkan dengan sinyal OFDM pengguna1. Proses ini yang dinamakan Proses *Succesive Interference Cancellation* (SIC).
- Pada sinyal tersebut dilakukan demodulasi OFDM sehingga didapatkan data (dalam bit) pengguna2.

2.7. Hasil Pengujian.

Dilakukan simulasi dengan tiap pengguna mengirimkan data dengan daya yang berubah ubah. Hasil pengujian dapat dilihat pda tabel 1.

Tabel 1. Hasil simulasi dengan berbagai daya yang berbeda

No	Daya		Berhasil/ Gagal
	Pengguna 1	Pengguna 2	
1	0.9	0.1	Berhasil
2	0.8	0.2	Berhasil
3	0.7	0.3	Berhasil
4	0.6	0.4	Berhasil
5	0.5	0.5	Gagal
6	0.4	0.6	Gagal
7	0.3	0.7	Gagal
8	0.2	0.8	Gagal
9	0.1	0.9	Gagal

Dari data yang sudah didapatkan berdasarkan simulasi, nilai daya minimal pada *pengguna1* adalah 0.6, jika daya dikecilkan menjadi 0.5 maka data akan mengalami *error*, jadi dapat dikatakan pengaturan daya sangat berpengaruh pada simulasi ini.

Selanjutnya dilakukan Simulasi NOMA Pada 2 pengguna, jika $h_{\text{pengguna2}} > h_{\text{pengguna1}}$

Tabel 2. Hasil simulasi dengan koefisien kanal pengguna2 > pengguna 1

Bit ke	Pengguna 1 $h_{\text{pengguna1}} = 0 - 0.0388i$		Pengguna 2 $h_{\text{pengguna2}} = 0.6443 + 0.4204i$	
	input	output	Input	output
1	1	0	1	1
2	1	0	0	1
3	0	0	1	1
4	1	0	0	1
5	0	1	1	1
6	1	0	0	0
7	1	0	1	1
8	0	1	0	1

Dari hasil yang didapatkan dengan simulasi dapat dilihat bahwa data keluaran tidak sama dengan data masukan, sehingga dapat dikatakan bahwa data mengalami kesalahan.

Selanjutnya dilakukan Simulasi NOMA Pada 3 pengguna.

Tabel 3. 16 Hasil Simulasi NOMA pada 3 pengguna

Bit ke	Pengguna 1 $h_{\text{pengguna1}} = -0.08 + 1.05i$		Pengguna 2 $h_{\text{pengguna2}} = 0.396 + 0.702i$		Pengguna 3 $h_{\text{pengguna3}} = 0.6624 + 0i$	
	input	output	Input	output	Input	output
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	0	0	1	1
3	0	0	1	1	0	0
4	1	1	0	0	0	0
5	0	0	1	1	1	1
6	1	1	0	0	1	1
7	1	1	1	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0

Simulasi NOMA yang dilakukan untuk 3 buah pengguna dapat dikatakan berhasil, karena data yang output sama dengan input, jadi dapat dikatakan data berhasil di decode kembali tanpa ada kerusakan. Hal ini terjadi karena syarat pada kanal sudah terpenuhi, dimana h_1 lebih besar dari h_2 dan h_3 , sedangkan h_2 lebih besar dari h_3 . Pada simulasi ini, daya yang digunakan adalah 0.5 untuk pengguna pertama, 0.3 untuk pengguna kedua, dan 0.2 untuk pengguna ketiga.

3. KESIMPULAN

Dari pengujian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Alokasi daya harus sesuai, daya antar pengguna harus berbeda, jika ada yang sama maka data keluaran akan mengalami kesalahan.
2. Daya pada pengguna 1 harus lebih besar dari pada pengguna 2, dan pengguna 2 harus lebih besar dari pengguna 3.
3. Koefisien kanal yang digunakan pada setiap pengguna harus diperhatikan, dimana pengguna dengan alokasi daya yang lebih besar harus memiliki koefisien kanal yang lebih besar.

Pengiriman data dengan 3 pengguna menggunakan NOMA berhasil dilakukan, tetapi syarat daya dan koefisien kanal harus terpenuhi

PUSTAKA

- Anass Benjebbour, Anxin Li, Yuya Saito, Yoshihisa Kishiyama, Atsushi Harada, Takehiro Nakamura. System-Level Performance of Downlink NOMA for Future LTE Enhancements. Radio Access Network Development Department, NTT DOCOMO, INC. DOCOMO Beijing Communications Laboratories Co., Ltd.
- Dai, Linglong. dkk. 2015. Non-Orthogonal Multiple Access for 5G: Solutions, Challenges, Opportunities, and Future Research Trends. IEEE Communications Magazine.
- Faeik Al Rabee, Kemal, dan Richard. 2017. The Optimum Received Power Levels of Uplink Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) Signals. IEEE 18th Wireless and Microwave Technology Conference.
- Goldsmith, A. (2005). Wireless Communications. New York: Cambridge University Press.
- Juwono, Filbert Hilman, dan Dadang Gunawan. 2010. Prinsip Prinsip OFDM. Jakarta: Andi.
- Kusuma Abdillah, Ir Yoedy Moegiharto, MT. Analisa Kinerja Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Berbasis Perangkat Lunak. Politeknik Elektro Negeri Surabaya – Institut Teknologi Sepuluh November (PENS-IT)
- Rappaport, T. S. (2001). Wireless Communication : Principles & Practice. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Yuya Saito, Yoshihisa Kishiyama, Anass Benjebbour, Takehiro Nakamura, Anxin Li, Kenichi Higuchi. Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for Cellular Future Radio Access. DOCOMO Beijing Communications Laboratories Co., Ltd.
- 3GPP. (2004). TR 25.892: Feasibility Study for Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) for UTRAN enhancement. Valbonne: 3GPP.

SISTEM PENGAMANAN PINTU RUMAH DENGAN RFID BERBASIS WIRELESS ESP8266

Ryan Laksmana Singgeta¹, Pinrolinvic D.K. Manembu², dan Mark D. Rembet³

¹ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik De La Salle Manado
Kairagi I Kombos Manado, Sulawesi Utara
Telp. (0431) 871972

² Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi
Kampus UNSRAT, Bahu
Telp. (0431) 863886

³ Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Katolik De La Salle Manado
Kairagi I Kombos Manado, Sulawesi Utara
Telp. (0431) 871972

E-mail: rsinggeta@unikadelasalle.ac.id, pmanembu@unsrat.ac.id, markrembet@gmail.com

ABSTRAK

Suatu perangkat sistem keamanan pintu rumah sedang dikembangkan untuk menjaga asset dan privasi yang dimiliki. Pengembangan peralatan keamanan ini harus diteliti dan diuji dengan baik sehingga memiliki tahapan yang benar. Pemanfaatan RFID telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Namun sistem tersebut yang telah dirancang masih memiliki banyak kendala apabila jumlah pintu yang akan dipasangkan terlalu banyak. Pada paper ini telah dilakukan pengembangan pada penelitian sebelumnya dalam hal fleksibilitas sistem. Media komunikasi kabel sebelumnya digantikan dengan media wireless yang lebih efisien dan efektif. Raspberry Pi adalah suatu Single Board Computer (SBC) yang digunakan penulis sebagai pengganti komputer desktop sebagai webserver pada sistem keamanan rumah. Performansi dari ESP8266 WiFi dan SBC sebagai server dapat berjalan dengan baik dimana request dari client dapat di handle dengan waktu respon sekitar 2000 mili-detik. Selain itu, dengan menggunakan perangkat ESP8266, penggunaan kabel dapat diminimalisir serta proses pemasangan sensor dapat lebih mudah dan efektif.

Kata Kunci: ESP8266, Radio Frequency Identification, Raspberry Pi

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem pengamanan pintu rumah menjadi isu penting pada zaman sekarang ini. Isu keamanan dalam rumah merupakan sesuatu hal penting dan sering dibicarakan dilingkungan sekitar. Sistem keamanan rumah yang kurang ketat dapat mengundang hal-hal yang tidak diinginkan seperti pencurian dan sebagainya. Oleh karena itu dibutuhkan suatu perangkat sistem keamanan pintu untuk keamanan yang dapat menjaga keamanan setiap waktu bahkan melindungi asset dan privasi yang dimiliki. Pada umumnya pengamanan pintu pada rumah yang digunakan masyarakat masih menggunakan kunci biasa. Dalam memenuhi kriteria di atas, maka pengembangan peralatan keamanan ini terus diteliti dan diuji dengan baik. Sebagai pengganti kunci pintu manual pemanfaatan RFID telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Sistem *Radio Frequency Identification* (RFID) adalah sebuah teknologi yang dapat mendeteksi identitas pengguna dimana proses ini terbilang unik karena tidak harus bersentuhan langsung dengan RFID Reader.

Kemajuan teknologi radio frequency (RF) semakin meningkat dan banyak digunakan di berbagai macam jenis aplikasi, misalnya pada televisi, radio, telepon selular, radar, dan automatic identification system (Suryadiputra, 2010). Radio frequency identification (RFID) bekerja menggunakan *radio frequency signals* untuk kemudian menentukan identitas dari sesuatu secara otomatis. RFID biasa digunakan untuk: *electronic toll collection (ETC)*, *railway car identification and tracking*, *intermodal container identification*, *asset identification and tracking*, *item management for retail*, *health care*, *and logistics application*, *access control*, *animal identification*, *fuel dispensing loyalty programs*, and *automobile immobilizing (security)*.

Beberapa penelitian telah dilakukan dalam mengembangkan teknologi RFID. Pada paper penulis (Charles P. M, 2010), sistem pembayaran biaya parkir dirancang secara otomatis menggunakan RFID (*Radio Frequency Identification*). ID yang ada di dalam tag akan dibaca oleh RFID reader. ID tersebut diolah di database untuk mengetahui identitas pemilik ID ketika masuk ke tempat parkir maupun akan keluar dari tempat parkir. Sistem ini sangat membantu pengguna layanan parkir agar tidak antri ketika masuk maupun keluar tempat parkir. Selain itu sistem tersebut memberikan kemudahan bagi pengelola parkir dalam penyebaran informasi menjadi lebih aman, cepat dan akurat. Pada paper dengan penulis (Beny. N, dkk, 2015), RFID digunakan sebagai sistem identifikasi lantai pada miniatur lift berbasis arduino. Pada penggunaan lift saat itu masih menggunakan tombol

sebagai penanda lantai, dimana setiap orang yang masuk ke dalam lift dapat menekan tombol lantai yang ingin mereka tuju. Setiap penghuni apartemen memiliki kartu RFID yang berisikan data lantai kamar mereka masing-masing. Hasil pengujian yang didapatkan, dengan menggunakan sistem indentifikasi kartu RFID, lift hanya bergerak ke lantai yang sesuai dengan kartu RFID tersebut sehingga para penghuni apartemen dapat langsung menuju ke kamarnya masing-masing tanpa perlu menekan tombol. Adapun pada paper penulis (Eko B. S, & Bobi. K, 2015), RFID digunakan untuk sistem absensi kehadiran perkuliahan. Absensi perkuliahan adalah salah satu permasalahan yang ada pada lingkungan akademik. Banyaknya suatu data absensi setiap matakuliah untuk setiap mahasiswa, menjadikan proses absensi menjadi tidak efektif dan tidak efisien. Dengan dirancang sistem absensi kehadiran perkuliahan di Universitas Komputer Indonesia (UNIKOM) berbasis teknologi *Radio Frequency Identification* (RFID), proses perkuliahan akademik di UNIKOM bisa berjalan dengan efektif.

Pada paper dengan penulis (Pinrolinvic M., 2015), merupakan penelitian sebelumnya dimana sistem pengamanan pintu menggunakan RFID (*Radio Frequency Identification*) sensor dirancang yang mudah digunakan pada pintu rumah, maupun indekos. Paper tersebut menggunakan beberapa perangkat keras seperti arduino uno, RFID-MFRC-522, relay dan Ethernet Shield. Modul Ethernet shield digunakan untuk mengkoneksikan Arduino dengan internet atau jaringan dengan menggunakan kabel (Wired). Pada paper tersebut pintu dibagi ke dalam 2 kategori yaitu pintu utama dan pintu kamar, jadi setiap pengguna dapat mengakses pintu utama dan untuk pintu kamar setiap pengguna hanya bisa mengakses satu pintu yaitu pintu kamarnya sendiri.

Perangkat lunak yang didesain akan melakukan monitoring semua pintu yang ada karna di asumsikan pintu-pintu tersebut merupakan pintu pada rumah-rumah kos, perangkat lunak juga dapat mendeteksi waktu jatuh tempo atau masa aktif kartu, sehingga dapat dijadikan sebagai alat monitor pembayaran sewa kamar. Penerapan sistem RFID yang melibatkan banyak ruangan atau kamar pada penelitian tersebut, memerlukan penanganan yang serius terutama untuk pengkabelan, sebab media komunikasi antara RFID sensor dan server penyedia data masih menggunakan kabel-kabel LAN, selain itu pula kebutuhan sebuah computer untuk bertindak sebagai server di rasa kurang efisien dalam pengimplementasian sistem ini dilokasi rumah kos ataupun gedung yang memiliki ruangan banyak.

Pada paper ini telah dilakukan pengembangan pada penelitian sebelumnya dalam hal fleksibilitas sistem. Media komunikasi kabel sebelumnya digantikan dengan media *wireless* yang lebih efisien dan efektif. Raspberry Pi adalah suatu *Single Board Computer* (SBC) yang digunakan penulis sebagai pengganti komputer desktop sebagai webserver pada sistem keamanan rumah. Web database digunakan sebagai tempat menyimpan informasi dari pengguna dan kemudian dapat diakses dengan mudah.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana mengembangkan sistem pengamanan pintu rumah dengan RFID berbasis *wireless* ESP8266 ?

1.3 Tujuan

Mengembangkan sistem pengamanan pintu rumah dengan RFID dalam hal fleksibilitas sistem. Dimana Ethernet Shield digantikan dengan teknologi *wireless* ESP8266 yang lebih efektif dan efisien.

1.4 Tinjauan Pustaka

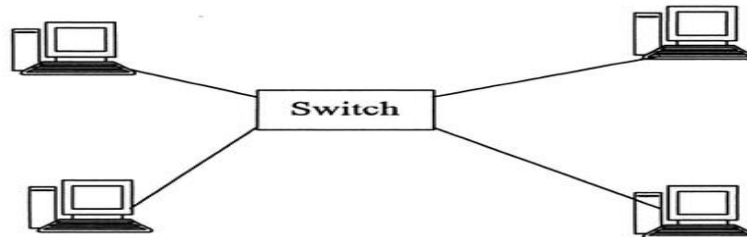
Jaringan Komputer

Perkembangan kebutuhan pengolahan data dan informasi, didalam sebuah perusahaan dibutuhkan beberapa komputer yang digunakan oleh banyak orang yang bekerja dalam sebuah tim. Pertukaran data dan informasi, maka komputer - komputer yang digunakanakan terhubung satu dengan yang lainnya. Kumpulan komputer yang saling terhubung disebut jaringan komputer (Madcoms 2010). Jaringan *client server* menghubungkan komputer server dengan komputer klien / *workstation*. Komputer server adalah komputer yang menyediakan fasilitas bagi komputer-kompute klien / *workstation* yang terhubung dalam jaringan. komputer server pada sebuah jaringan tipe *client server* disebut dengan Dedicated server, karena komputer yang digunakan hanya sebagai penyedia fasilitas untuk komputer klien / *workstation*. Komputer server tidak dapat berperan sebagai komputer klien/*workstation* (Madcoms 2010). Keunggulan tipe *client server* adalah:

1. Terdapat administrator jaringan yang mengelola sistem keamanan dan administrasi jaringan sehingga lebih terkontrol.
2. Komputer server difungsikan sebagai pusat data, klien dapat mengakses data dari komputer klien manapun.
3. Pengaksesan data lebih tinggi karena penyediaan dan pengelolaan fasilitas jaringan dilakukan oleh komputer server.
4. Pada tipe jaringan *client server*, sistem backup data lebih baik, karena backup data dapat dilakukan terpusat di komputer server.

Topologi Star

Topologi *star* adalah konfigurasi beberapa komputer yang terkoneksi melalui sebuah switch/hub dan kabel UTP. Topologi ini merupakan topologi yang paling populer diaplikasikan. Pada topologi ini walaupun kabel UTP sebagai pilihan utama, tetapi dapat juga menggunakan kabel fiber optic. Bentuk topologi ini diperlihatkan pada gambar dibawah ini (Aryanto 2010):



Gambar 1. Bentuk Topologi Star (Aryanto 2010)

RFID (Radio Frequency Identification System)

Radio Frequency Identification (RFID) adalah teknologi untuk mengidentifikasi dan mengendalikan data dari jarak jauh menggunakan transmisi gelombang radio. RFID menggunakan sarana transponder atau RFID tag untuk menyimpan dan mengambil data dari jarak jauh. RFID tag mirip dengan penggunaan barcode yang melekat pada sebuah objek yang menyimpan identifikasi data obyek. *Antenna* adalah salah satu komponen penting pada RFID tag yang digunakan untuk mengirim dan menangkap sinyal informasi yang dipancarkan *antenna* menggunakan gelombang radio (Yuwono 2014). Berdasarkan definisi menurut (Maryono, 2005) identifikasi dengan frekuensi radio adalah teknologi untuk mengidentifikasi seseorang atau objek benda menggunakan transmisi frekuensi radio, khususnya 125kHz, 13.65Mhz atau 800-900MHz. RFID menggunakan komunikasi gelombang radio untuk secara unik mengidentifikasi objek atau seseorang. Terdapat beberapa pengertian RFID menurut (Maryono, 2005) yaitu :

- RFID (*Radio Frequency Identification*) adalah sebuah metode identifikasi dengan menggunakan sarana yang disebut label RFID atau transponder (tag) untuk menyimpan dan mengambil data jarak jauh.
- Label* atau transponder (tag) adalah sebuah benda yang bisa dipasang atau dimasukkan di dalam sebuah produk, hewan atau bahkan manusia dengan tujuan untuk identifikasi menggunakan gelombang radio. *Label* RFID terdiri atas mikrochip silikon dan *antenna*.

Suatu sistem RFID secara utuh terdiri atas 3 (tiga) komponen:

- Tag* RFID, dapat berupa stiker, kertas atau plastik dengan beragam ukuran (gambar 2). Di dalam setiap *tag* ini terdapat chip yang mampu menyimpan sejumlah informasi tertentu. RFID *Tag* berfungsi sebagai *transponder* (*transmitter* dan *responder*) yang berisikan data dengan menggunakan frekuensi 125 KHz.



Gambar 2. RFID Tag

- Terminal Reader* RFID, terdiri atas RFID *reader* dan *antenna* yang akan mempengaruhi jarak optimal identifikasi. Terminal RFID akan membaca atau mengubah informasi yang tersimpan di dalam *tag* melalui frekuensi radio. Terminal RFID terhubung langsung dengan sistem Host Komputer. Salah satu jenis terminal *reader* RFID adalah MFRC522 gambar 3. MFRC522 beroperasi pada frekuensi 13.56 MHz dengan konsumsi arus 10-13 mA / DC 3.3 Volt.



Gambar 3. RFID Reader MFRC522

Cara kerja dapat diterangkan sebagai berikut (Doni S. dkk, 2010): RFID mengirim data biasanya berupa nomor serial yang tersimpan dalam *label*, dengan mengirim kembali gelombang radio ke *reader*. Informasi dikirim ke dan di baca dari *label* RFID oleh *reader* menggunakan gelombang radio. *Label tag* RFID yang tidak memiliki baterai, *antenna* yang berfungsi sebagai pencatu sumber daya dengan memanfaatkan medan magnet dari pembaca (*reader*) dan memodulasi medan magnet. Kemudian digunakan kembali untuk mengirimkan data yang ada dalam *label tag* RFID. Data yang diterima *reader* diteruskan ke database host computer. *Reader* mengirim gelombang elektromagnet, yang kemudian diterima oleh *antenna* pada *label* RFID. *Label* Dalam sistem yang paling umum yaitu sistem pasif, *reader* memancarkan energi gelombang radio yang membangkitkan *label* RFID dan menyediakan energi agar beroperasi. Sedangkan sistem aktif, baterai dalam *label* digunakan untuk memperoleh jangkauan operasi *label* RFID yang efektif, dan fitur tambahan penginderaan suhu. Data yang diperoleh atau dikumpulkan dari *label* RFID kemudian dilewatkan atau dikirim melalui jaringan komunikasi dengan kabel atau tanpa kabel ke sistem komputer. *Antenna* akan mengirimkan melalui sinyal frekuensi radio dalam jarak yang relatif dekat. Dalam proses transmisi tersebut terjadi 2 (dua) hal:

- a. *Antenna* melakukan komunikasi dengan transponder, dan
- b. *Antenna* memberikan energi kepada *tag* untuk berkomunikasi (untuk *tag* yang sifatnya pasif) Ini adalah kunci dalam teknologi RFID. Sebuah *tag* pasif yang tidak perlu power seperti baterai sehingga dapat digunakan dalam waktu yang sangat lama. *Antenna* bisa dipasang secara permanen (walau saat ini tersedia juga yang portable) Bentuknya pun beragam sekarang sesuai dengan keinginan kita. Pada saat *tag* melewati wilayah sebaran *antenna*, alat ini kemudian mendeteksi wilayah scanning. Selanjutnya setelah terdeteksi maka chip yang ada di *tag* akan "terjaga" untuk mengirimkan informasi kepada *antenna*.

1.5 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan, sebagian besar pengerjaan penelitian ini dilakukan di laboratorium dan juga ada beberapa kunjungan ke lapangan untuk mendapatkan informasi tentang bagaimana hambatan dan kendala dalam pengelolaan rumah tempat kos, mulai dari keamanan pintu dan sistem pembayarannya.

Tahapan yang ada meliputi persiapan berupa studi literature, penentuan tujuan dan batasan penelitian, kemudian ke tahap analisis, yaitu dilakukan analisis kebutuhan apa saja yang di perlukan untuk membangun sistem ini, termasuk didalamnya ada proses pengidentifikasian sistem yang akan dibangun. Berdasarkan teori, suatu system memiliki tiga elemen pokok, yaitu masukan (input), proses (process) dan keluaran (output). Tahap selanjutnya perancangan yang akan dikonsentrasikan kepada solusi efektif untuk komunikasi data, dan alternative web server skala kecil. Pada tahap Implementasi dilakukan implementasi sistem yang telah dirancang pada sebuah miniature sederhana. Selanjutnya tahap evaluasi yaitu dengan melakukan pengujian pada peralatan yang sudah dibuat, juga akan melihat kinerja dari proses pengiriman data secara *wireless* antara sensor dan web server serta performa dari aplikasi yang dibuat, setelah menggunakan *wireless* system.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan kinerja system yang sudah ada sebelumnya dengan 2 tahapan yaitu pertama efisiensi media komunikasi data dengan menggunakan media *wireless*. Kedua efisiensi bagian web server dengan menggunakan raspberry sebagai computer mungil yang akan bertindak sebagai server.

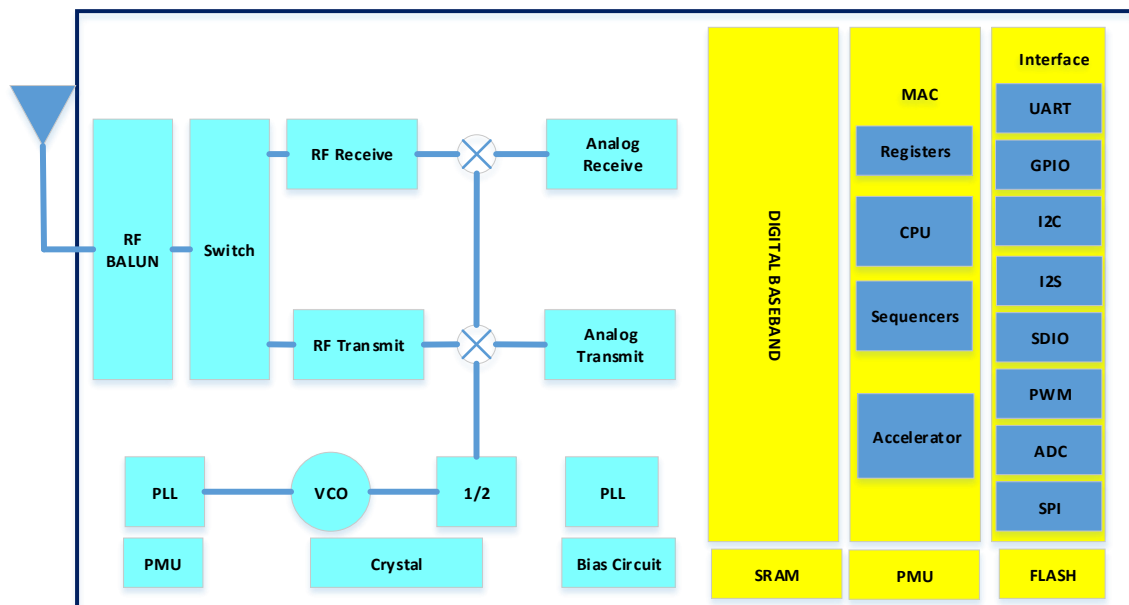
2.1. Media komunikasi *wireless*

Pada bagian ini akan didiskusikan tentang solusi dengan menggunakan perangkat *wireless* sebagai pengganti media kabel dalam komunikasi data. Salah satu alternatif adalah dengan menggunakan perangkat ESP 8266

sebagai komponen utama pada solusi *wireless* ini. Pemilihan perangkat ini karena kelebihanannya yaitu memiliki harga yang tergolong murah, kemudian secara spesifikasi perangkat ini memiliki fitur yang cukup untuk keperluan pada penelitian ini, seperti

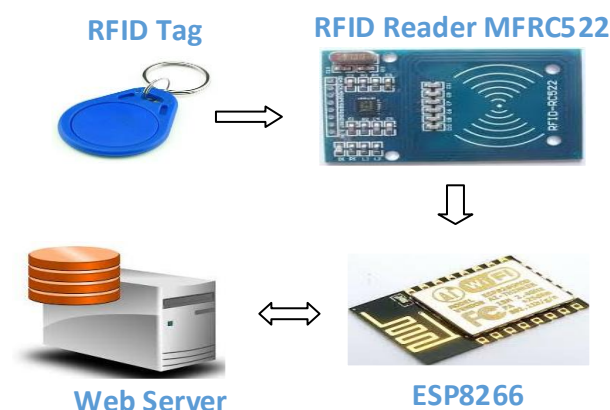
1. Kemampuan IP *networking*, yang memungkinkan perangkat ini dapat mengakses atau mengendalikan via Internet
2. Serial WiFi SoC (single on Chip) dengan onboard USB to TTL. Untuk *Wireless* standar yang digunakan adalah IEEE 802.11b/g/n
3. Memiliki CPU 32 bit Tensilica Xtensa LX106 dengan kecepatan 80 Mhz,
4. Memiliki RAM instruksi 64 KiB dan RAM data 96 KiB.
5. Memiliki kemampuan berperan sebagai client atau server.
6. Memiliki beberapa jenis I/O untuk komunikasi data seperti :GPIO, SPI, I2C, I2S, dan ADC
7. Hemat daya karna memiliki fitur deep sleep
8. Pemrograman via, Python, Arduino IDE, LUA

Secara lengkap fitur dari esp8266 dapat dilihat pada gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Blok diagram ESP8266EX

Penggunaan ESP8266 pada penelitian ini berperan ganda yaitu dihubungkan ke perangkat sensor RFID, untuk mengolah data hasil bacaan RFID, kemudian ESP8266 juga berperan sebagai client yang akan berkomunikasi dengan server, sehingga posisi ESP8266 sangat sentral seperti terlihat pada gambar 5.



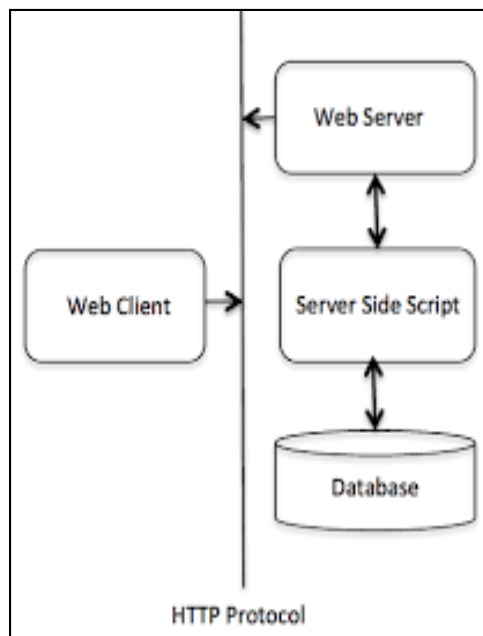
Gambar 5. Alur data melalui ESP8266

Embedded system pengamanan pintu di desain dan dirancang untuk mengintegrasikan beberapa komponen atau device menjadi satu sistem. Beberapa perangkat keras dikonfigurasi satu sama lain yang diantaranya adalah *Wireless ESP8266*, *RFID Reader MFRC522*, *Catu daya*, *buzzer*, dan *relay*. Hasil perancangannya dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. *Embedded System* Pengamanan Pintu

Komunikasi data Sebagai media komunikasi antara sensor RFID dan perangkat lunak yang dibuat, direalisasikan dengan memanfaatkan protocol http dimana semua perangkat keras dalam hal ini RFID sensor bertindak sebagai client dan perangkat lunak yang di bangun bertindak sebagai web server dan penyimpan data-data transaksi (database), proses transaksi data pada system ini dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Alur Data HTTP Protocol

2.2 *Web server* dengan menggunakan *Raspberry Pi*

Sebagai alternative solusi untuk web server yang akan digunakan sebagai media penyimpan data dan untuk menjalankan perangkat lunak yang dibuat, dipilih sebuah *single board computer* (SBC) dalam hal ini menggunakan *Raspberry Pi* (gambar 8). SBC ini memiliki spesifikasi yang cukup untuk bertindak sebagai server karena perangkat ini memiliki beberapa keunggulan seperti :

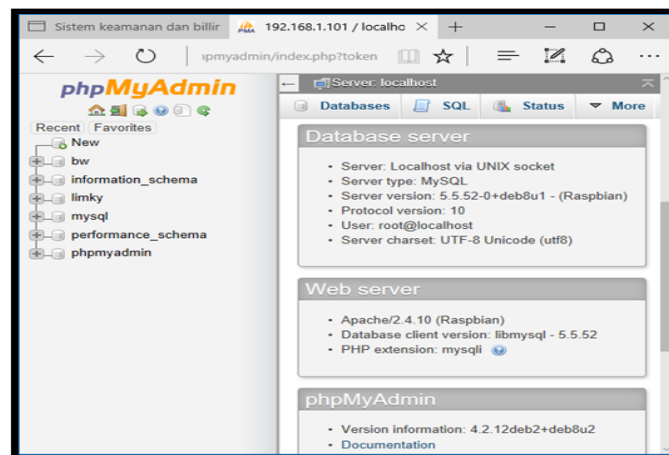
1. A 900MHz quad-core ARM Cortex-A7 CPU
2. 1GB RAM
3. 4 USB ports

4. 40 GPIO pins
5. Full HDMI port
6. Ethernet port
7. Combined 3.5mm audio jack and composite video
8. Camera interface (CSI)
9. Display interface (DSI)
10. Micro SD card slot
11. Video Core 3D graphics core

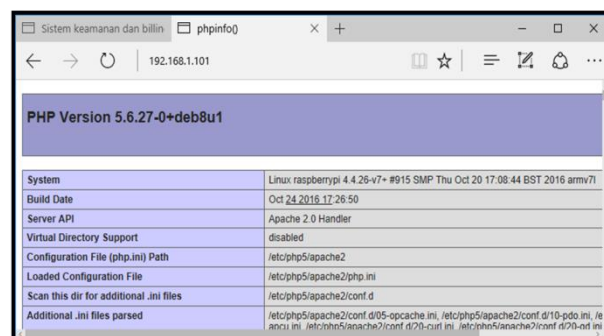


Gambar 8. Single Board Computer, Raspberry pi

Untuk mengaktifkan semua fitur yang ada pada Raspberry ini, maka pertama-tama diinstallkan system operasi Linux raspberrypi, kemudian setelah itu diinstal Apache sebagai server dan PHP sebagai script language, serta Mysql sebagai database, sehingga raspberry ini dapat berperan sebagai web server untuk system yang dibuat. Detail versi tools yang digunakan dapat dilihat pada gambar 9 dan gambar 10.



Gambar 9. Detail web server, database server, phpmyadmin yang terinstall



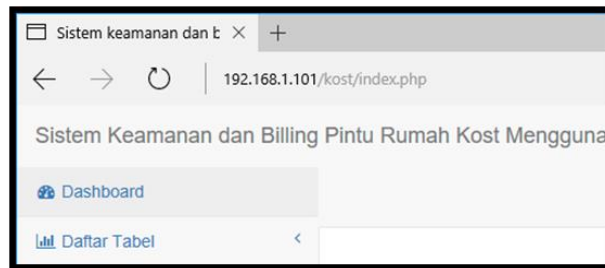
Gambar 10. Detail versi PHP yang terinstall

Karena berperan sebagai server maka pada penelitian ini alamat IP dari Raspberry ini di setting menjadi static di 192.168.1.101, sehingga semua client (sensor RFID) harus di program alamat IP servernya ke-alamat IP Raspberry ini. berikut penggalan kode untuk membuat IP raspberry menjadi static, dengan memperbarui file bernama : dhcpd.conf. pada path : /etc/dhcpd.conf

interface eth0

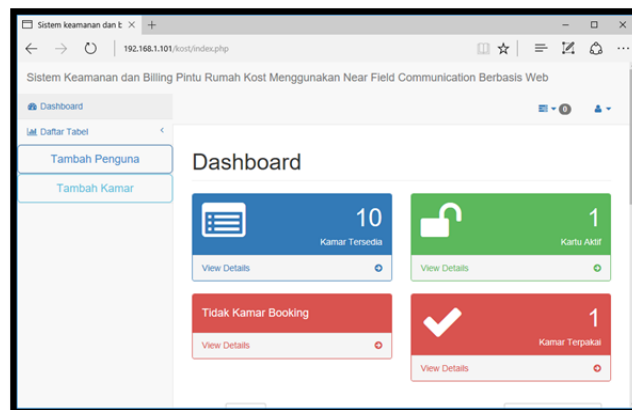
static routers=192.168.1.1

static domain_name_servers=192.168.0.101

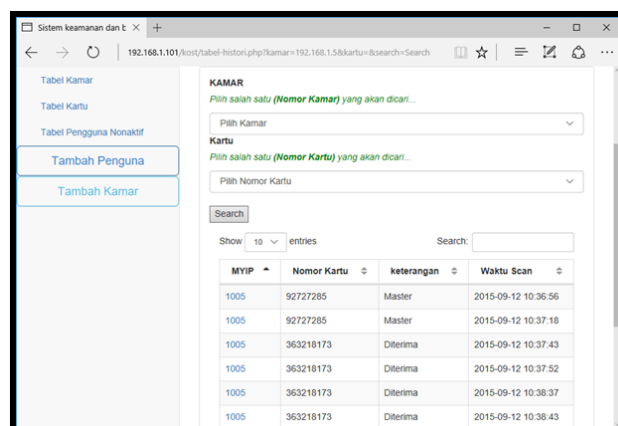


Gambar 11. IP server di set ke 192.168.1.101

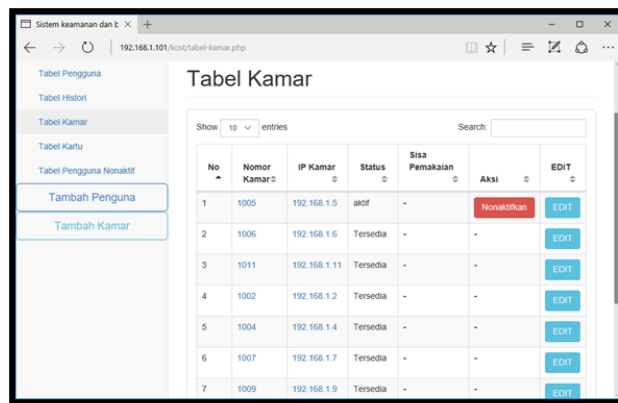
Proses migrasi server ke SBC dalam hal ini Raspberry tergolong cukup mudah, selanjutnya akan dilakukan pemanggilan/request ke server dengan menggunakan browser dari sebuah komputer untuk melihat apakah server dapat merespon dengan baik atau tidak. berikut adalah hasil-hasil akses ke web server pada SBC.



Gambar 12. Tampilan Dashboard pada server SBC

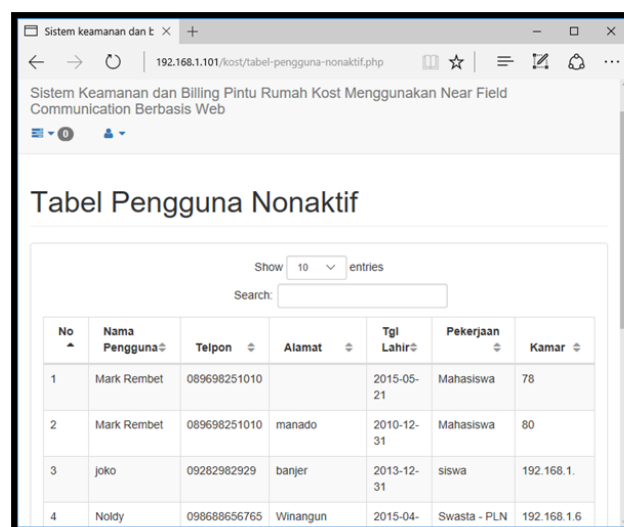


Gambar 13. Tampilan pemindaian kartu
TE-94



No	Nomor Kamar	IP Kamar	Status	Sisa Pemakaian	Aksi	EDIT
1	1005	192.168.1.5	aktif	-	Nonaktifkan	EDIT
2	1006	192.168.1.6	Tersedia	-	-	EDIT
3	1011	192.168.1.11	Tersedia	-	-	EDIT
4	1002	192.168.1.2	Tersedia	-	-	EDIT
5	1004	192.168.1.4	Tersedia	-	-	EDIT
6	1007	192.168.1.7	Tersedia	-	-	EDIT
7	1009	192.168.1.9	Tersedia	-	-	EDIT

Gambar 14. Akses ke tabel kamar



No	Nama Pengguna	Telpon	Alamat	Tgl Lahir	Pekerjaan	Kamar
1	Mark Rembet	089698251010		2015-05-21	Mahasiswa	78
2	Mark Rembet	089698251010	manado	2010-12-31	Mahasiswa	80
3	joko	09282982929	banjer	2013-12-31	siswa	192.168.1.
4	Noidy	098688656765	Winangun	2015-04-	Swasta - PLN	192.168.1.6

Gambar 15. Akses ke status pengguna

Dari data yang ditunjukkan oleh gambar 11 sampai dengan 15 diatas dapat dilihat bahwa penggunaan Raspberry sebagai server dapat berjalan dengan baik dimana semua request dari browser dapat direspons dengan menampilkan halaman-halaman yang dimintakan. Selain itu juga telah dilakukan pengujian sistem keseluruhan dimana dicobakan pemindaian terhadap RFID sensor dengan menggunakan kartu yang telah terdaftar, dimana waktu tunggu maksimal terhadap respon yang dihasilkan oleh server untuk menyatakan user valid dan terotentifikasi, sehingga pintu dapat dibuka berada pada kisaran 2000 mili-detik. Hasil ini dirasa cukup untuk keperluan respon system pada system keamanan dan billing pintu rumah kost ini.

3. KESIMPULAN

Proses implementasi dengan menggunakan media komunikasi *wireless* ESP8266 telah diterapkan pada sistem keamanan dan billing rumah kost ini, dimana komunikasi secara *wireless* dapat menggantikan komunikasi dengan menggunakan kabel sehingga penggunaan kabel dapat diminimalisir. Peran SBC dalam hal ini raspberry yang digunakan sebagai webserver dapat berjalan dengan baik dimana, request dari client dapat di handle dengan waktu respon sekitar 2000 mili-detik.

Sistem ini masih perlu dikembangkan dari sisi perangkat keras dengan melakukan riset lanjutan untuk analisa kegagalan sistem, karna hal ini bisa terjadi kapan saja.

PUSTAKA

- [1] Suryadiputra, L. 2010. Analisis dan Perancangan Sistem Karcis Elektronik pada Gerbang Masuk Busway dengan Menggunakan RFID, *Jurnal ComTech*, Vol.1 No.2., 942-955.
- [2] Charles P. M. S, & Fakhruddin R. B. 2010. Perancangan Sistem Pembayaran Biaya Parkir Secara Otomatis Menggunakan RFID (*Radio Frequency Identification*). *Konferensi Nasional Sistem dan Informatika*.
- [3] Beny, N, dan dkk. 2015. Perancangan Dan Pengujian Miniatur Lift Berbasis Arduino Dengan Menggunakan Rfid Sebagai Sistem Identifikasi Lantai. *SINERGI*, Vol. 19, No. 3, hal. 211-216.
- [4] Eko B. S, & Bobi. K. 2015. Perancangan Sistem Absensi Kehadiran Perkuliahan dengan Menggunakan *Radio Frequency Identification* (RFID), *Jurnal CoreIT*, Vol.1, No.2.
- [5] Figa. U. dkk. 2015. Prototype Sistem Keamanan Pintu Menggunakan *Radio Frequency Identification* (RFID) Dengan Kata Sandi Berbasis Mikrokontroler, *Jurnal Coding*, Vol. 3, No. 1, hal 22-31.
- [6] Denny Darmawan Diredja, dkk. 2010. Perancangan Sistem Pengaman Pintu Menggunakan RFID Tag Card Dan Pin Berbasis Mikrokontroler AVR Atmega 8535, *Konferensi Nasional Sistem dan Informatika*.
- [7] Pinrolinvic M., 2015. "Sistem pengamanan pintu jamak dengan RFID sensor berbasis web", *Jurnal Elektro* vol 8. no.2 page 79-86. Unika Atma Jaya, Jakarta.
- [8]. Madcoms. (2010). *Sistem Jaringan Komputer untuk Pemula*. Yogyakarta :Andi.
- [9]. Aryanto, Mahmud. (2010). *Ip Camera Dan Aplikasinya*. Jakarta : Elex Media Komputindo.
- [10]. Yuwono, R. (2014). Design of Circular Patch Microstrip Antenna with Egg Slot for 2.4 GHz Ultra-Wideband *Radio Frequency Identification* (UWB RFID) Tag Applications. *Jurnal Internasional Applied Mechanics and Materials* Vol. 513-517.
- [11]. Maryono. 2005. Dasar-dasar *Radio Frequency Identification* (RFID) Teknologi Yang Berpengaruh di Perpustakaan. *Media Informasi*. Vol. XIV No.20.
- [12]. Doni S. dkk. 2010. Sistem Otomasi Perpustakaan Dengan Menggunakan *Radio Frequency Identification* (RFID). *Jurnal Informatika Mulawarman*. Vol. 5. No. 3.
- [13]. Datasheet MFRC522, (online), (<https://www.elecrow.com/download/MFRC522%20Datasheet.pdf>, diakses 22 mei 2007).

**PENERAPAN FUZZY C-MEAN UNTUK PEMETAAN PRESTASI
AKADEMIK MAHASISWA BERDASARKAN TEST POTENSI AKADEMIK
PADA PENERIMAAN CALON MAHASISWA**

Tjendro¹, Vincent Suhartono², Romi Satrio Wahono³

*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma¹
Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta*

Telp. (0274) 883037, 883968

Magister Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Dian Nuswantoro^{2,3}

Jalan Imam Bonjol No. 207, Semarang

Telp. (024) 3517261

E-mail: tjendro@usd.ac.id, vincent.suhartono@dsn.dinus.ac.id, romi@romisatriawahono.net

ABSTRAK

Entrance test in the implementation of higher education system is one of the most important stages to be implemented. From the entrance test is helpful in selecting prospective college freshman, so it can determine the student with the right candidate. Since the passing score is obtained by prospective students are not equal, then the interest and aptitude tests are used (or better known as the Tes Potensial Akademik/ TPA) as the test equipment.

Tests using TPA will demonstrate the intelligence and ability to prospective students, such as verbal, numerical, logical, spatial / image ability, and English language. In this research the data of TPA will be processed using the method of Fuzzy C-Means (FCM) into 3 clusters. The results of the clustering is used to assist majors in predicting the success of prospective students.

This research was obtained accuracy in predicting the ability of prospective students by 70.97%.

Keywords: Tes Potensial Akademik (TPA), FCM, Fuzzy C-Mean

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tes masuk dalam penyelenggaraan suatu sistem pendidikan tinggi merupakan salah satu tahapan yang sangat penting untuk dilaksanakan. Kepentingan ini timbul dari kenyataan bahwa penilaian kelulusan siswa (dalam hal ini SMU/K) bersifat kedaerahan berdasarkan *Standar Kelulusan UNAS Ditentukan Provinsi* (Jawa Pos 19 Oktober 2010) yang didukung oleh peraturan pemerintah no.19 tahun 2005, sehingga pendidikan tinggi dalam mencari calon mahasiswa melakukan pengujian terhadap calon mahasiswa. Pengujian akan dilakukan terhadap calon mahasiswa yang masing-masing mempunyai nilai kelulusan yang tak seragam, maka digunakan pengujian berkaitan dengan bakat dan kemampuan. Pengujian ini dikenal dengan Tes Potensi Akademik (TPA), TPA yang dilakukan di Indonesia identik dengan Graduate Record Examination (GRE) dan GMAT yang sudah menjadi standar internasional (Taufiqurrohmah, 2010).

TPA merupakan tes yang mencerminkan kecerdasan atau kemampuan untuk belajar dan digunakan oleh perguruan tinggi untuk penerimaan calon mahasiswa, meskipun tidak mewakili semua aspek kecerdasan (Mupinga, Emily E., 2005). Meskipun demikian menurut Feeley, Thomas Hugh dan kawan-kawan dalam jurnalnya menyatakan bahwa GRE dapat digunakan untuk memprediksi keberhasilan studi seseorang. Hal yang serupa juga dinyatakan oleh Nelson, Jacquelin S. dan kawan-kawan dalam laporan penelitiannya.

TPA mengujikan empat bidang kemampuan, yaitu: kemampuan seseorang di bidang verbal atau bahasa, kemampuan seseorang di bidang numerik atau angka, kemampuan seseorang di bidang logika atau mekanik, dan kemampuan di bidang spasial atau gambar. Tes-tes kemampuan ini dimaksudkan untuk (Supratikna, 1999):

- Tes kemampuan verbal (V) menguji kemampuan berpikir seseorang secara logis khususnya dalam mengklarifikasi penertian-pengertian yang banyak digunakan dalam proses perkuliahan.
- Tes kemampuan numerik (N) menguji kemampuan berpikir seseorang khususnya memahami pola relasi dari sederetan bilangan dan mengoperasikan bilangan menurut pola yang ada.
- Tes kemampuan logika (M) menguji kemampuan berpikir seseorang dalam penalaran dan pemecahan persoalan secara logis atau masuk akal. Tes logika ini meliputi tes logika umum, tes analisis pernyataan dan kesimpulan (silogisme), tes logika cerita dan tes logika diagram.
- Tes kemampuan gambar (HR) ini bertujuan menguji daya logika ruang yang dimiliki seseorang. Tes ini meliputi antara lain tes padanan hubungan gambar, tes seri gambar, tes pengelompokan gambar, tes bayangan gambar dan tes identifikasi gambar.

Sebagai obyek penelitian diambil dari Universitas Sanata Dharma. Universitas ini menerapkan tes masuk dengan menggunakan TPA dan dilengkapi dengan Tes Bahasa Inggris yang dimaksudkan untuk mengukur penguasaan bahasa asing (dalam hal ini adalah Bahasa Inggris) yang pernah dipelajari, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang dipandang merupakan bekal minimum untuk menunjang proses belajar di program studi (Supratikna, 1999).

Dari hasil tes tersebut di atas Universitas menentukan diterima atau tidaknya calon mahasiswa. Diharapkan jurusan-jurusan pada Universitas ini bisa mendapatkan calon mahasiswa yang mampu mengikuti proses belajar mengajar dan kecerdasan sesuai dengan bidang yang dipilihnya. Mahasiswa yang diterima diharapkan dapat lulus sesuai dengan yang direncanakan pada kurikulum.

Permasalahannya apakah TPA untuk setiap jurusan dapat digeneralisir, mengingat masing-masing jurusan punya karakteristik tersendiri. Untuk itu penulis mencoba melihat fenomena yang ada di salah satu jurusan yaitu Teknik Informatika (TI). Penelitian awal ini hendak melihat apakah semua komponen tes masuk berkorelasi langsung dengan IPK.

Pada penelitian awal ini diambil dari hasil tes TPA mahasiswa yang diterima Program Studi Teknik Informatika pada tahun ajaran 2009/2010 sebanyak 38 mahasiswa (setelah di-filter dari total sebanyak 85 mahasiswa). Data tes TPA tersebut diurutkan berdasarkan setiap kemampuan, bahasa Inggris, nilai final dan IPK Semester 2. Berdasarkan Peraturan Akademik mengenai predikat kelulusan sarjana (Priyotamtomo, 2010 dan Heliarko 2008), maka Tabel 1 pada bagian nilai IPK digambarkan dengan warna latar merah untuk IPK kurang dari 2,75 (yang tidak diharapkan), nilai IPK diantara 2,76 sampai dengan 3,50 digambarkan dengan warna latar kuning, dan nilai IPK bernilai lebih dari 3,51 digambarkan dengan warna latar hijau (yang diharapkan). Dari Tabel 1 terlihat bahwa dari nilai total TPA tidak menunjukkan nilai IPK yang sesuai, dengan kata lain bahwa data yang diperoleh dari penerimaan mahasiswa masih menggunakan metoda yang tidak akurat.

Tabel 1. Hasil TPA Diurutkan Berdasarkan Nilai Final TPA

No	V	N	M	HR	BI	IPK
1	7	8	8	7	10	2.86
2	8	3	9	8	9	3.29
3	9	5	8	9	5	1.5
4	6	6	7	7	7	3.55
5	8	5	8	5	7	2.3
6	7	8	5	4	8	3.61
7	8	6	7	6	5	3.27
8	7	5	6	9	4	3.08
9	6	6	9	3	7	3.05
10	8	4	9	5	5	2.45
11	7	4	4	9	6	3.36
12	6	3	7	6	8	2.45
13	5	5	9	4	7	2.82
14	6	7	5	4	7	3.39
15	5	7	6	7	4	3.44
16	6	5	9	3	6	2.36
17	7	6	5	3	7	3.48
18	6	5	7	5	5	3.15
19	7	5	5	7	4	2.36

No	V	N	M	HR	BI	IPK
20	7	3	8	5	5	0.88
21	6	5	4	4	7	3.52
22	6	4	5	6	5	2.65
23	6	5	6	4	5	2.6
24	6	2	6	5	7	0.8
25	6	5	6	5	3	3.27
26	8	3	5	4	5	3.68
27	6	6	6	3	4	3.41
28	6	6	6	2	5	2.77
29	5	5	4	5	6	2.85
30	5	3	9	4	4	2.15
31	5	4	5	6	5	0.2
32	7	6	2	4	5	3.72
33	6	4	4	4	6	1.63
34	6	5	5	4	4	2.59
35	5	5	5	3	6	2.44
36	5	4	6	7	1	2.05
37	4	4	7	2	5	2.55
38	3	4	4	3	5	3.5

Keterangan:

V → Verbal
N → Numerik
M → Mekanik
HR → Hubungan Ruang
BI → Bahasa Inggris

IPK → IPK Semester 2

Hijau ≥ 3,51

Kuning 2,76 s/d 3,50

Merah ≤ 2,75

Proses pengelompokan dapat dilakukan secara lebih akurat dengan algoritma pengelompokan. Pengelompokan telah menjadi topik yang semakin penting dalam beberapa tahun terakhir, disebabkan oleh data yang berlimpah dari berbagai disiplin ilmu dinyatakan oleh Xu dan Wunsch (2009).

Dalam proses pengelompokan banyak metoda/ algoritma yang dapat digunakan, pada penelitian ini akan digunakan metoda Fuzzy Clustering. Fuzzy Clustering adalah salah satu teknik untuk menentukan kelompok (cluster) optimal dalam suatu ruang vektor yang didasarkan pada bentuk normal untuk jarak Euclidian antar vektor (Kusumadewi dan Purnomo, 2010). Ada beberapa algoritma clustering data, salah satu diantaranya adalah Fuzzy C-Means. Fuzzy C-Means (FCM) adalah suatu teknik pengelompokan data yang keberadaan tiap-tiap

titik data dalam suatu kelompok ditentukan oleh derajat keanggotaan. Teknik ini pertama kali dikenalkan oleh Jim Bezdek pada tahun 1981 (Kusumadewi, 2003).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah diuraikan pada bagian sebelumnya maka dapat dirumuskan permasalahan: Bagaimana FCM diterapkan untuk mendapatkan komposisi bobot pada komponen TPA yang lebih akurat pada suatu jurusan di Universitas, sehingga dapat memberikan hasil penerimaan mahasiswa dengan lebih akurat?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan komposisi bobot pada komponen TPA, sehingga dapat membuat formulasi yang lebih akurat dalam proses penerimaan mahasiswa baru.

1.4 Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini digunakan model penelitian model eksperimen dengan metode penelitian sebagai berikut:

1. Penentuan Masalah

Penentuan masalah penelitian adalah dengan menggunakan studi literatur dan studi lapangan.

2. Penentuan Pendekatan Komputasi

Pendekatan komputasi pada penelitian ini dipilih berdasarkan studi literatur tentang metode *Fuzzy Clustering*. optimalnya. Pada penelitian ini metode pengelompokan *Fuzzy C-Mean* dipilih dengan pemikiran bahwa dengan menggunakan perhitungan jarak Euclidian antar vektor dan derajat keanggotaan untuk menentukan kelompok yang dilakukan secara berulang-ulang akan membentuk kelompok lebih akurat.

3. Penerapan *Fuzzy C-Mean* untuk pemetaan prestasi akademik mahasiswa berdasarkan tes potensi akademiknya.

4. Pengembangan software yang menerapkan pendekatan komputasi.

Untuk pengembangan perangkat lunak menggunakan metode sesuai dengan prinsip-prinsip pengembangan perangkat lunak. Dalam pengembangan perangkat lunak ini, pendekatan yang digunakan adalah metode berorientasi objek. Tools yang digunakan untuk mengembangkan software adalah Matlab dengan menggunakan *fuzzy logic toolbox*.

5. Penerapan perangkat lunak pada obyek penelitian

Perangkat lunak yang telah dikembangkan akan digunakan untuk membantu proses penerimaan calon mahasiswa di Universitas Sanata Dharma.

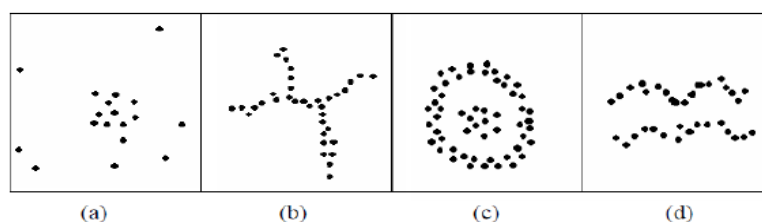
6. Pengujian dengan melakukan komparasi dengan data empiris.

Pengujian keakurasian penerapan *Fuzzy C-Mean* untuk pemetaan prestasi akademik mahasiswa berdasarkan tes potensi akademiknya, akan dilakukan dengan perbandingan hasil dengan data empiris.

1.5 Tinjauan Pustaka

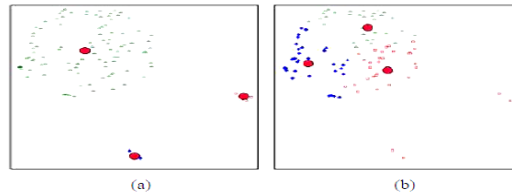
Dalam penelitian Sumanto (2010) menyatakan bahwa FCM cluster pertama kali dikemukakan oleh Dunn pada tahun 1973 dan kemudian dikembangkan oleh Bezdek pada tahun 1981 yang banyak digunakan dalam pengenalan pola. Metoda ini merupakan pengembangan dari metode non hierarki K-means Cluster, karena pada awalnya ditentukan dulu jumlah kelompok Z atau cluster yang akan dibentuk. Kemudian keanggotaan kelompok didapatkan dari proses iterasi. Pemilihan metode fuzzy cluster merupakan metode yang paling robust, karena pusat cluster dan hasil pengelompokkan tidak berubah jika ada data baru yang ekstrim (Ngai, E.W.T.; Wat, F.K.T, 2005).

FCM baik digunakan untuk mengelompokkan objek terutama jika objek – objek tersebut tersebar berserakan dan terdapat nilai ekstrim didalamnya. Ketidakteraturan bukan berarti objek-objek tersebut tidak berpola, namun yang dimaksud ketidakteraturan ini berarti tidak ada kecenderungan yang pasti bahwa objek-objek tersebut akan mengelompok secara jelas. Pada Gambar 1 diperlihatkan beberapa jenis sebaran objek yang mengandung nilai ekstrim (a) dan sebaran berpola namun sulit ditentukan pengelompokkannya secara jelas ((b), (c) dan (d)).



Gambar 1. Jenis Sebaran Data (a) Mengandung Titik Ekstrim (b), (c), dan (d) Tidak Terkelompok secara Jelas (Shihab, Ahmed Ismail, 2000).

Pada sekumpulan data untuk pengelompokan sebanyak 3 akan terjadi perbedaan antara metoda K-means dan FCM. Pada Gambar 2.a tampak bahwa dalam metoda K-means data ekstrim cenderung membentuk kelompok tersendiri, sedangkan pada FCM data ekstrim bergabung menjadi satu kelompok dengan pusat cluster yang terlihat seperti pada Gambar 2.b Hasil pengelompokan dengan FCM lebih kokoh menganalisis data dengan titik-titik ekstrim (Klawonn, Frank dan Kruse, Rudolf, 1997).



Gambar 2. Perbedaan Pengelompokan pada Metode (a) K-means dan (b) FCM

Menurut Kusumadewi (2003) algoritma FCM dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Masukan data yang akan di cluster X, berupa matriks berukuran $n \times m$ dengan n = jumlah sampel data dan m = atribut setiap data. X_{ij} = data sampel ke- i ($i = 1, 2, \dots, n$), atribut ke- j ($j = 1, 2, \dots, m$).
2. Menentukan:
 - Jumlah cluster = c ; Pangkat = w ; Maksimum iterasi = MaxIter ;
 - Error terkecil yang diharapkan = ξ ; Fungsi objektif awal = $P_0 = 0$;
 - dan Iterasi awal = $t = 1$;
3. Bangkitkan bilangan random μ_{ik} , dengan $i = 1, 2, \dots, n$ dan $k = 1, 2, \dots, c$; sebagai elemen-elemen matriks partisi awal U.

Hitung jumlah setiap kolom:

$$Q_i = \sum_{k=1}^c \mu_{ik} \quad (1)$$

dengan $j = 1, 2, \dots, n$

Hitung:

$$\mu_{ik} = \frac{\mu_{ik}}{Q_i} \quad (2)$$

4. Hitung pusat cluster ke- k : V_{kj} , dengan $k = 1, 2, \dots, c$; dan $j = 1, 2, \dots, m$

$$V_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^n ((\mu_{ik})^w * X_{ij})}{\sum_{i=1}^n (\mu_{ik})^w} \quad (3)$$

5. Hitung fungsi objektif pada iterasi ke- t , P_t :

$$P_t = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c \left[\sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right] (\mu_{ik})^w \quad (4)$$

6. Hitung perubahan matriks partisi:

$$\mu_{ik} = \left[\sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{-\frac{1}{w-1}} / \sum_{k=1}^c \left[\sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{-\frac{1}{w-1}} \quad (5)$$

dengan: $i = 1, 2, \dots, n$ dan $k = 1, 2, \dots, c$

7. Cek kondisi berhenti:

- Jika: $(|P_t - P_{t-1}| < \xi)$ atau $(t > \text{MaxIter})$ maka berhenti;
- Jika tidak: $t = t + 1$, ulangi langkah 4

2. PEMBAHASAN

Pada penelitian ini menggunakan data nilai TPA yang sudah dibersihkan sesuai dengan yang dibutuhkan, diperoleh sebanyak 120 buah data yang terdiri dari lima nilai komponen TPA dan IPK semester2. Dari data tersebut diperoleh pusat kelompok seperti pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Pusat Kelompok Nilai IPK dan Nilai Komponen TPA

Kelompok IPK	Pusat Kelompok	Pusat Kelompok	Pusat Kelompok				
			V	N	M	HR	BI
1	2,62	3,09	6,11103	4,66271	6,61834	4,9761	5,35097
2	2,75	3,75	6,02737	4,85988	6,45130	5,0547	5,43091
3	3,12	5,61	6,23027	5,61004	6,06859	5,3343	5,59501

Pada proses pengelompokan data IPK dapat diperoleh jumlah anggota dari kelompok TPA pada setiap kelompok IPK, data tersebut dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini:

Tabel 3. Gabungan Jumlah Anggota Kelompok TPA pada Kelompok IPK

Jenis	Kelompok IPK								
Materi\Kel	1			2			3		
I P K	34			42			44		
V	14	19	1	15	21	6	19	19	6
N	12	20	2	22	16	4	25	7	12
M	6	14	14	13	13	16	13	22	9
HR	7	16	11	12	16	14	20	18	6
BI	2	15	17	3	13	26	8	13	23

Dari Tabel 3 dapat dibuat dua analisis, yaitu: berdasarkan jumlah anggota kelompok komponen TPA pada kelompok IPK dan berdasarkan jumlah anggota kelompok TPA yang ada pada kelompok IPK terhadap jumlah masing-masing komponen TPA.

1. Analisis berdasarkan jumlah anggota kelompok komponen TPA pada kelompok IPK.

Berdasarkan Tabel 3 dapat dihitung prosentase jumlah komponen pada kelompok IPK dengan perhitungan sebagai berikut:

Sebagai contoh untuk komponen V pada kelompok IPK (1) = $(14 / 34) * 100\% = 41\%$ (dengan pembulatan). Dengan perhitungan tersebut hasil dapat ditabelkan seperti Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4 tampak bahwa rata-rata dari jumlah maksimum anggota setiap komponen TPA pada setiap kelompok IPK menunjukkan bahwa komponen N mempunyai nilai terbesar, selanjutnya berturut-turut komponen BI, V, HR, dan M.

Tabel 4. Persentase Setiap Komponen TPA terhadap Setiap Kelompok IPK

Terhadap IPK	Kelompok IPK									Nilai Maksimum per Kelompok			Rata ² Max
	1			2			3			1	2	3	
V	41%	56%	3%	36%	50%	14%	43%	43%	14%	56%	50%	43%	50%
N	35%	59%	6%	52%	38%	10%	57%	16%	27%	59%	52%	57%	56%
M	18%	41%	41%	31%	31%	38%	30%	50%	20%	41%	38%	50%	43%
HR	21%	47%	32%	29%	38%	33%	45%	41%	14%	47%	38%	45%	44%
BI	6%	44%	50%	7%	31%	62%	18%	30%	52%	50%	62%	52%	55%

2. Analisis berdasarkan jumlah anggota kelompok TPA yang ada pada kelompok IPK terhadap jumlah masing-masing komponen TPA.

Berdasarkan Tabel 3 dapat dihitung prosentase jumlah komponen pada kelompok IPK dengan perhitungan dengan contoh sebagai berikut, untuk komponen V pada kelompok IPK 1 dengan jumlah anggota V pada kelompok IPK 1 sebanyak 14 orang dan jumlah anggota kelompok TPA 1 sebanyak 34 orang, maka:

Prosentase TPA-IPK = $(14 / (14+15+19)) * 100\% = 29\%$ (dengan pembulatan).

Dengan perhitungan tersebut hasil dapat digambarkan seperti pada lampiran C2 dan ditabelkan seperti Tabel 5 berikut ini:

Tabel 5. Persentase Kelompok TPA terhadap Jumlah Masing-masing Komponen TPA

Terhadap Masing-Masing Komponen	Kelompok									Nilai Maksimum per Kelompok			Rata ² Max
	1			2			3			1	2	3	
V	29%	32%	8%	31%	36%	46%	40%	32%	46%	32%	46%	46%	42%
N	20%	47%	11%	37%	37%	22%	42%	16%	67%	47%	37%	67%	50%
M	19%	29%	36%	41%	27%	41%	41%	45%	23%	36%	41%	45%	41%
HR	18%	32%	35%	31%	32%	45%	51%	36%	19%	35%	45%	51%	44%
BI	15%	37%	26%	23%	32%	39%	62%	32%	35%	37%	39%	62%	46%

Berdasarkan Tabel 5 tampak bahwa rata-rata dari jumlah maksimum anggota setiap komponen TPA pada setiap kelompok IPK menunjukkan bahwa komponen N mempunyai nilai terbesar, selanjutnya berturut-turut komponen BI, HR, V, dan M.

Pada proses pengujian keakuratan digunakan data uji dari mahasiswa angkatan 2010 sebanyak 114 mahasiswa. Dari total 114 orang yang memenuhi kriteria pengujian sebanyak 31 mahasiswa. Dari data uji tersebut dilakukan proses pengujian yang terdiri dari pembuatan kelompok data uji IPK (terdiri dari lima komponen), pembuatan kelompok dari data uji nilai TPA, dan pengujian keakuratan antara kelompok data uji IPK dengan data uji TPA yang dibentuk.

Pengelompokan data uji IPK dilakukan dengan menghitung jarak antara data uji IPK dengan pusat kelompok yang sudah dibentuk dengan FCM. Dari perhitungan jarak tersebut data uji IPK akan bergabung dengan kelompok yang memiliki jarak terpendek. Berikut contoh perhitungan yang diperoleh:

Tabel 6. Data Uji IPK dengan Pusat Kelompok IPK

No	IPK	1	2	3	Kelompok IPK
1	2.3	1.5881	2.2518	4.1076	1
2	2.3	1.5881	2.2518	4.1076	1
3	2.6	0.0881	0.7518	2.6076	1
4	2.11	2.5381	3.2018	5.0576	1
5	3.2	2.9119	2.2482	0.3924	3
6	3	1.9119	1.2482	0.6076	3
7	2.75	0.6619	0.0018	1.8576	2
8	2.75	0.6619	0.0018	1.8576	2
9	3.3	3.4119	2.7482	0.8924	3
10	3.05	2.1619	1.4982	0.3576	3
11	2.8	0.9119	0.2482	1.6076	2
12	2.55	0.3381	1.0018	2.8576	1
13	3.25	3.1619	2.4982	0.6424	3
14	2.83	1.0619	0.3982	1.4576	2
15	3.4	3.9119	3.2482	1.3924	3
16	2.75	0.6619	0.0018	1.8576	2

No	IPK	1	2	3	Kelompok IPK
17	3.15	2.6619	1.9982	0.1424	3
18	3.35	3.6619	2.9982	1.1424	3
19	3.35	3.6619	2.9982	1.1424	3
20	2.65	0.1619	0.5018	2.3576	1
21	2.2	2.0881	2.7518	4.6076	1
22	2.7	0.4119	0.2518	2.1076	2
23	3.4	3.9119	3.2482	1.3924	3
24	2.65	0.1619	0.5018	2.3576	1
25	2.2	2.0881	2.7518	4.6076	1
26	2.25	1.8381	2.5018	4.3576	1
27	3.2	2.9119	2.2482	0.3924	3
28	2.85	1.1619	0.4982	1.3576	2
29	3.3	3.4119	2.7482	0.8924	3
30	2.7	0.4119	0.2518	2.1076	2
31	2.6	0.0881	0.7518	2.6076	1

Data uji IPK

Pusat Kelompok 1 = 3,0881

Jarak IPK dengan Pusat Kelompok 1 = $|DataUji - PusatKelompok1| = 1,5881$

Dengan pusat kelompok 2 mempunyai jarak 2,2518 dan dengan pusat kelompok 3 mempunyai jarak 4,1076, maka IPK 2,3 berada pada kelompok IPK 1. Dan hasil perhitungan tersebut ditabelkan seperti Tabel 6.

Dengan metoda yang sama diterapkan pada perhitungan jarak data uji komponen TPA, sehingga diperoleh data seperti Tabel 7.

Tabel 7. Pengelompokan Data Uji TPA

No	Data Uji					Kelompok per Komponen					Kel TPA
	V	N	M	HR	BI	V	N	M	HR	BI	
1	7	2	7	5	5	3	1	1	3	1	1
2	7	3	7	4	7	3	1	1	1	3	1
3	7	3	4	5	3	3	1	3	3	1	3
4	6	3	7	5	6	2	1	1	3	3	1
5	7	6	6	7	6	3	3	3	3	3	3
6	7	3	8	5	7	3	1	1	3	3	3
7	4	5	6	5	5	2	2	3	3	1	2
8	7	7	7	4	4	3	3	1	1	1	1
9	7	6	9	4	7	3	3	1	1	3	3
10	6	4	5	5	7	2	1	3	3	3	3
11	6	8	3	5	4	2	3	3	3	1	3
12	4	5	9	4	6	2	2	1	1	3	1
13	5	5	4	7	4	2	2	3	3	1	3
14	7	5	9	7	7	3	2	1	3	3	3
15	7	5	6	7	3	3	2	3	3	1	3
16	7	4	9	7	6	3	1	1	3	3	3
17	5	5	6	7	4	2	2	3	3	1	3
18	6	6	4	6	9	2	3	3	3	3	3
19	5	7	7	5	7	2	3	1	3	3	3
20	5	4	8	5	7	2	1	1	3	3	1
21	6	5	9	6	4	2	2	1	3	1	1

22	5	5	7	5	5	2	2	1	3	1	2
23	6	6	3	5	7	2	3	3	3	3	3
24	7	4	9	5	7	3	1	1	3	3	3
25	7	3	5	7	7	3	1	3	3	3	3
26	6	5	9	4	5	2	2	1	1	1	1
27	6	6	3	3	5	2	3	3	1	1	3
28	6	5	7	6	6	2	2	1	3	3	2
29	6	6	3	4	5	2	3	3	1	1	3
30	7	4	5	4	4	3	1	3	1	1	1
31	5	5	9	5	8	2	2	1	3	3	3

Dengan membandingkan kelompok IPK yang dibentuk dari data uji (dari Tabel 6) dan kelompok komponen TPA (dari Tabel 7) diperoleh Tabel 8 untuk mendapatkan data keakuratan berdasarkan IPK yang diperoleh.

Tabel 8. Prediksi Keakuratan IPK

No	Kelompok Berdasarkan IPK	Kelompok Berdasarkan TPA	Keterangan
1	1	1	akurat
2	1	1	akurat
3	1	3	tidak akurat
4	1	1	akurat
5	3	3	akurat
6	3	3	akurat
7	2	2	akurat
8	2	1	tidak akurat
9	3	3	akurat
10	3	3	akurat
11	2	3	tidak akurat
12	1	1	akurat
13	3	3	akurat
14	2	3	tidak akurat
15	3	3	akurat
16	2	3	tidak akurat

No	Kelompok Berdasarkan IPK	Kelompok Berdasarkan TPA	Keterangan
17	3	3	akurat
18	3	3	akurat
19	3	3	akurat
20	1	1	akurat
21	1	1	akurat
22	2	2	akurat
23	3	3	akurat
24	1	3	tidak akurat
25	1	3	tidak akurat
26	1	1	akurat
27	3	3	akurat
28	2	2	akurat
29	3	3	akurat
30	2	1	tidak akurat
31	1	3	tidak akurat

Dari Tabel 8 didapatkan keakuratan pengujian dengan metoda ini sebesar 70,97% yang diperoleh dari perhitungan dengan data akurat sebanyak 22 buah dan data sample total sebanyak 31 buah, sehingga diperoleh keakuratan (%) = $22/31 * 100\% = 70,97\%$.

3. KESIMPULAN

Uji coba di prodi Teknik Informatika di Universitas Sanata Dharma, dengan jalan mengambil sampel mahasiswa tahun 2007, 2008, dan 2009 sebagai data pembelajaran. Selanjut dipakai data mhs tahun 2010 sebagai data uji. Setelah dilakukan pengelompokan dengan FCM, hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam proses pembelajaran metoda FCM ini menghasilkan pusat kelompok rata-rata yang berbeda untuk setiap komponen TPA, yaitu:

- Komponen Verbal (V) mempunyai pusat kelompok rata-rata di 3,03480.
- Komponen Numerik (N) mempunyai pusat kelompok rata-rata di 1,95610.
- Komponen Mekanik (M) mempunyai pusat kelompok rata-rata di 3,29130.
- Komponen Hubungan Ruang (HR) mempunyai pusat kelompok rata-rata di 2,03363.
- Komponen Bahasa Inggris (BI) mempunyai pusat kelompok rata-rata di 2,37087.

Dari penelitian dengan memanfaatkan pusat kelompok rata-rata sebagai acuan yang digunakan dengan data uji penelitian yang diperoleh dan dilakukan pengelompokan dengan menggunakan metoda FCM menunjukkan keakuratan prediksi hubungan antara nilai IPK dan TPA sebesar 70,97%.

PUSTAKA

- Feeley, Thomas Hugh, dan Williams, Vivian, dan Wise, Timothy. 2005. Testing the Predictive Validity of the GRE Exam on Communication Graduate Student Success: A Case Study at University at Buffalo, *Communication*, Vol. 53.
- Heliarko, Gregorius Ir., S.J., S.S., B.S.T., MSc., M.A. 2008. *Pedoman Akademik Fakultas Sains dan Teknologi*, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta.
- Klawonn, Frank dan Kruse, Rudolf. 1997. *Construting a Fuzzy Controller from Data*, Fuzzy Sets and Systems (Volume 85, Issue 2, hlm 177-193). University of Braunschweig, Germany: Elsevier.
- Kusumadewi, Sri dan Purnomo, Hari. 2010. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*, Graha Ilmu.
- Kusumadewi, Sri, *Analisis dan Design Sistem Fuzzy (Menggunakan Toolbox Matlab)*, Graha Ilmu, 2003.
- Mupinga, Emily E. dan Mupinga, Davison M. 2005. Perceptions Of International Students Toward GRE., *College Student Journal*, Vol. 39, Issue 2, Jun2005.
- Nelson, Jacquelin S. dan Nelson, C. Van. 1995. Predictors of Success for Student Entering Graduate School on a Probationary Basis, *Graduate Record Examinations*, hal 42, Ball State University, USA.
- Ngai, E.W.T.; Wat, F.K.T. 2005. Fuzzy Decision Support System for Risk Analysis in e-Commerce Development, *Decision Support Systems*, Vol40, Issue 2.
- Peraturan Pemerintah 19 Tahun 2005.
- Priyotamtomo, P. Wiryono S.J., Dr. Ir. 2010. *Pedoman Akademik Universitas*, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta.
- Shihab, Ahmed Ismail. 2000. *Fuzzy Clustering Algorithms and Their Application to Medical Image Analysis*, University of London, London.
- Sumanto (2010), *Penerapan Fuzzy C-Means (FCM) dalam Pemilihan Peminatan Tugas Akhir Mahasiswa*, STMIK Nusa Mandiri, Jakarta.
- Supratikna, Dr. A.; Suhartanno, S.Psi. P.Eddy; dan Anantasari, S.Psi. M.L. (1999), *Tes Bakat dan Tes Prestasi sebagai Alat Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru*, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta.
- Taufiqurrohman, ST, SIP, Msi (2008), *Panduan Tes Potensi Akademik*, Rintiq Ilmu Press.
- WWW.jpnn.com. 2010. *Standar Kelulusan Unas Ditentukan Provinsi*, (Online), (<http://www.jpnn.com/read/2010/10/19/74876/Standar-Kelulusan-Unas-Ditentukan-Provinsi->), diakses 14 Feb. 2011).
- Xu, Rui dan Wunsch, Donald C. 2009. *Clustering, IEEE Press Series on Computational Intelligence*, John Wiley & Sons.

PENGAMATAN BADAI CUACA UNTUK MENDUKUNG AKTIVITAS PELUNCURAN SATELIT

Wayan Suparta

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta
E-mail: drwaynesparta@gmail.com

ABSTRAK

Ribut cuaca adalah salah satu parameter terpenting yang perlu diperhatikan dalam skenario peluncuran roket atau peluncuran satelit menuju orbitnya. Tulisan ini bertujuan untuk mengukur terjadinya ribut badai berdekatan daerah Selat Makassar sebagai langkah awal untuk membangun model badai cuaca dalam rangka peluncuran satelit. Data meteorologi permukaan harian seperti tekanan, suhu, kelembaban relatif, tutupan awan, uap air, kecepatan angin dan arahnya telah dianalisis. Analisis juga mempertimbangkan musim kemarau dan musim hujan di dekat kawasan target peluncuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas ribut badai pada bulan Mei dan Oktober terdeteksi lebih tinggi daripada bulan-bulan lainnya. Investigasi awal ditemukan bahwa aktivitas ribut badai di daerah ini lebih dipengaruhi oleh kelembaban relatif dan uap air, khususnya di musim peralihan (Monsun). Sementara bulan-bulan yang diprediksi aman untuk peluncuran roket adalah Juni, Juli, dan Agustus.

Kata Kunci: Meteorologi, Badai, Monsun, Selat Makassar, Peluncuran Satelit.

1. PENDAHULUAN

Ribut badai adalah berbahaya dan mempengaruhi aktivitas ruang angkasa seperti saat peluncuran satelit atau penerbangan komersial. Roket peluncur atau badan satelit bahkan telah dilengkapi dengan bahan anti badai supaya muatan sensitif dapat menarik badai (sangkar Faraday). Pesawat komersial yang terbang di bawah 35,000 kaki (titik ideal di ketinggian 30,000 - 42,000 kaki) memang sangat nyaman dengan kehadiran teknologi sangkar Faraday ini. Namun roket yang membawa satelit dan meluncur hingga ketinggian 123,520 kaki tidak akan terlepas dari serangan cuaca angkasa yang ganas. Untuk alasan ini, aktivitas yang terkait dengan ruang angkasa sering tertunda dari situasi yang ideal. Ribut badai sering terjadi melalui awan cumulonimbus dengan terpicunya badai petir. Tergantung pada lokasi, badai biasanya disertai oleh angin kencang, hujan lebat dan kadang-kadang hujan es, salju, atau sebaliknya badai ini dapat terjadi tanpa hujan.

Musim dengan hari tenang (cuaca normal) sangat penting untuk menentukan perubahan kejadian ribut badai dan jika ini dapat diidentifikasi dengan akurat maka peluncuran satelit melalui roket dapat tinggal landas dengan aman dari landasan peluncuran (*keypad*) ke sistem luar angkasa. Upaya meningkatkan kehandalan akurasi peramalan terhadap bahaya badai yang tak terduga adalah sangat penting. Awan konvektif dapat terbentuk kapan saja di tropopause karena perbedaan dalam tekanan, pengangkatan termal, atau pola aliran angin. Dalam studi aktivitas sistem konvektif, Suparta et al. (2015) telah menemukan bahwa aktivitas *Mesoscale Convective System* (MCS) meningkat pada bulan Desember, Januari, dan Februari (DJF) di Tawau, Sabah. Pielke (2001) telah mempelajari konvergensi *mesoscale* sebagai lingkungan prakondisi untuk terbentuknya ribut badai dan membuktikan bahwa awan cumulonimbus menunjukkan pengaruhnya yang signifikan.

Dalam studi ini, kajian lebih difokuskan untuk menganalisa terjadinya badai cuaca untuk kemudian dapat digunakan sebagai bahan mitigasi keangkasaan seperti pemodelan saat berangkat atau lepas landas dari peluncuran roket. Kawasan yang menjadi objek sebenarnya adalah Selat Makassar karena titik peluncur roket (*keypad*) direncanakan akan dibangun di Tawau, Sabah, Malaysia (Kalimantan) atau berdekatan dengan Laut Sulawesi. Kawasan udara di atas selat ini adalah salah satu poin yang menguntungkan untuk mempelajari efek potensial dari badai pada kegiatan kedirgantaraan. Angin musim kemarau dicirikan dengan cuaca panas yang kuat, umumnya angin membawa uap air yang signifikan ke Asia Tenggara dan terutamanya akan membawa aktivitas sistem konvektif ke Selat Makassar. Jadi, wilayah atmosfer di kemaritiman Kalimantan-Sulawesi menjadi isu sentral (terdampak) jika *space launcher* akan dibangun di Sabah, Malaysia. Karenanya kajian ini berupaya mengkarakterisasi parameter meteorologi yang berkontribusi besar dalam pembentukan awan badai yang kemudian akan digunakan sebagai masukan untuk pengembangan model badai saat peluncuran roket.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Set Data dan Lokasi

Daerah Tawau dipilih untuk studi ini karena diramalkan menerima hembusan angin kuat dari Laut Sulu dan Laut Sulawesi dan berpotensi menghasilkan badai tertinggi setiap tahunnya. Tawau terletak di koordinat geografis 4°19' LU dan 118°07' BT di atas permukaan laut rata-rata (MSL) 17,5 m atau berbatasan dengan Pulau Sebatik dan Nunukan (Indonesia) dan dipilih oleh Pemerintah Malaysia sebagai program *keypad* masa depan. Untuk menyelidiki terjadinya badai di daerah Tawau, beberapa parameter yang relevan akan diidentifikasi dan

dianalisis. Data meteorologi permukaan di kawasan ini dikumpulkan dari sumber yang berbeda. Tutupan awan (Okta), badai petir, kecepatan angin (knot) dan arah angin (derajat) dibeli dari Departemen Meteorologi Malaysia (MetMalaysia). Tekanan permukaan (mbar), suhu ($^{\circ}\text{C}$), dan kelembaban relatif (persen) diambil dari situs web www.wunderground.com dengan durasi per jam. Data uap air dalam bentuk uap air terpresipitasi (atau *Precipitable Water Vapor* - PWV) dengan durasi per hari didapat dari Universitas Wyoming website. Data yang diamati ini diambil dari 2011 hingga 2013. Catatan bahwa data ribut badai harian yang dibeli dari MetMalaysia dicatat secara manual, yang berarti bahwa jika terjadi badai nilainya diberi 1 atau ya, jika tidak ada badai, nilainya diberi 0. Jadi data mentah ribut badai dalam bentuk seri waktu tidak tersedia dari MetMalaysia atau sumber manapun dari website. Karenanya dalam kajian ini, data badai petir tersebut digantikan dengan PWV yang juga dapat diturunkan melalui pengukuran GPS (Suparta, 2014).

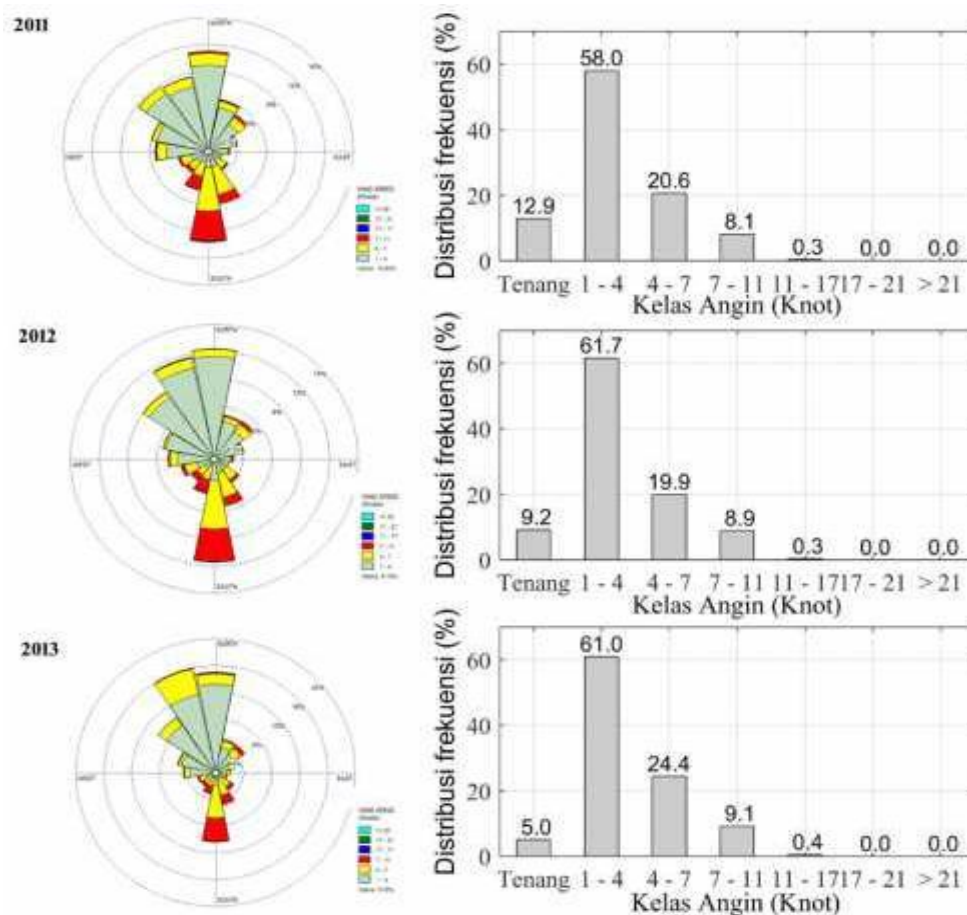
2.2. Pengolahan Data

Semua data meteorologi permukaan, kecuali data ribut badai, diteliti melalui penilaian kualitas sebelum diplot dalam bentuk seri waktu. Data meteorologi seperti kecepatan angin dan arah angin diproses dengan menggunakan perangkat lunak WRPLOT untuk menunjukkan distribusi frekuensinya. WRPLOT adalah program freeware yang disediakan untuk visual wind rose, analisis frekuensi, dan plot untuk beberapa format data meteorologi (WRPLOT ViewTM, 2011). Data permukaan meteorologi lainnya diproses dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Kemudian, data tersebut dibandingkan dan dianalisis dengan kejadian ribut badai untuk daerah sekitaran Tawau.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Karakterisasi Angin Di Daerah Tawau

Gambar 1 menunjukkan plot distribusi kecepatan angin dan arah angin di Tawau untuk tahun 2011, 2012, dan 2013. Arah utama kecepatan angin adalah dari Utara-Barat Laut (UBL) di mana Laut Sulu dan Gunung Kinabalu mempengaruhi daerah Tawau. Pada arah ini, kecepatan angin sering terjadi di kelas dua (1-4 knot). Arah angin lainnya adalah dari Selatan, di mana kecepatan angin dikategorikan di kelas tiga (4-7 knot).



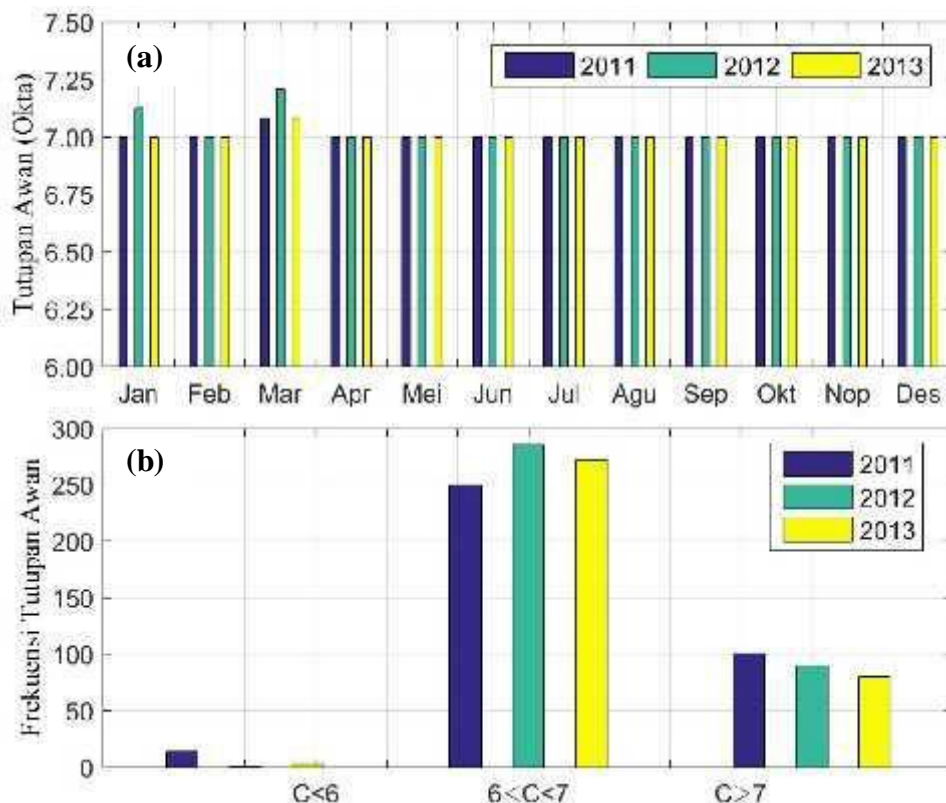
Gambar 1. Variasi rose angin dan distribusi frekuensinya di wilayah Tawau pada tahun 2011, 2012, dan 2013

Melihat arah aliran, angin yang berasal dari Laut Cina Selatan dan Pasifik Utara terjadi selama musim timur laut sementara angin barat daya berasal dari daerah kering Australia. Maret dan Oktober membentuk transisi antara dua musim peralihan (monsun). Angin dari arah UBL sering terjadi dan kadang-kadang di kelas tiga karena munculnya musim dingin di setiap tahun. Namun, pola angin di arah barat laut berbeda di setiap tahunnya karena perubahan musiman di Asia yang sedikit mempengaruhi wilayah ini (Loo et al., 2015). Angin dari arah Selatan setiap bulan pada tahun 2013 menunjukkan kecepatannya di kelas tiga (berbahaya) daripada angin dari arah utara. Dengan kata lain, selama musim dingin, kecepatan angin lebih sering di kelas tiga dibandingkan selama musim panas.

Selama musim panas (akhir Mei 2011 hingga September 2013), kecepatan angin sering terjadi dari arah selatan (dari Selat Makassar) dan umumnya berada di kelas tiga. Dari data yang dianalisa (Gambar 1), kecepatan angin dari arah Selatan dialami setiap tahun dan angin ini berbahaya bagi aktivitas penerbangan. Oleh karena itu, untuk kegiatan penerbangan komersial disarankan tinggal landas dari arah utara. Saran ini valid karena didukung oleh Islam (2011) bahwa selama musim panas, sebagian besar kecepatan angin rata-rata per bulan adalah antara 2,5 m/s dan 4 m/s, namun beberapa dapat lebih dari 4 m/s dan sedikit di bawah 2,5 m/s.

3.2 Tutupan Awan

Gambar 2 menunjukkan tutupan awan atau *Cloud Cover* (Okta) di atas kawasan Tawau. Seperti yang terlihat pada Gambar 2a, rata-rata maksimum bulanan sebelum mulai musim peralihan pada bulan Maret, tutupan awan lebih dari 7 Okta yang menunjukkan bahwa kecepatan angin selama bulan itu adalah rendah (kelas 1 dan 2) di daerah utara dan tinggi (kelas 3) di bagian selatan. Tutupan awan dengan lebih dari 7 Okta menunjukkan bahwa langit benar-benar berawan (mendung), dan pada tahap ini, nilai tekanan akan tinggi, suhu dan kelembaban relatif akan menurun. Temuan di mana tutupan awan meningkat akibat peningkatan aktivitas kecepatan angin mirip dengan yang diperoleh Morris et al. (2001). Secara umum, variasi tutupan awan dapat dikatakan sedang hingga rendah dari April hingga Desember, dan oleh karena itu, daerah ini cocok untuk kegiatan kedirgantaraan.



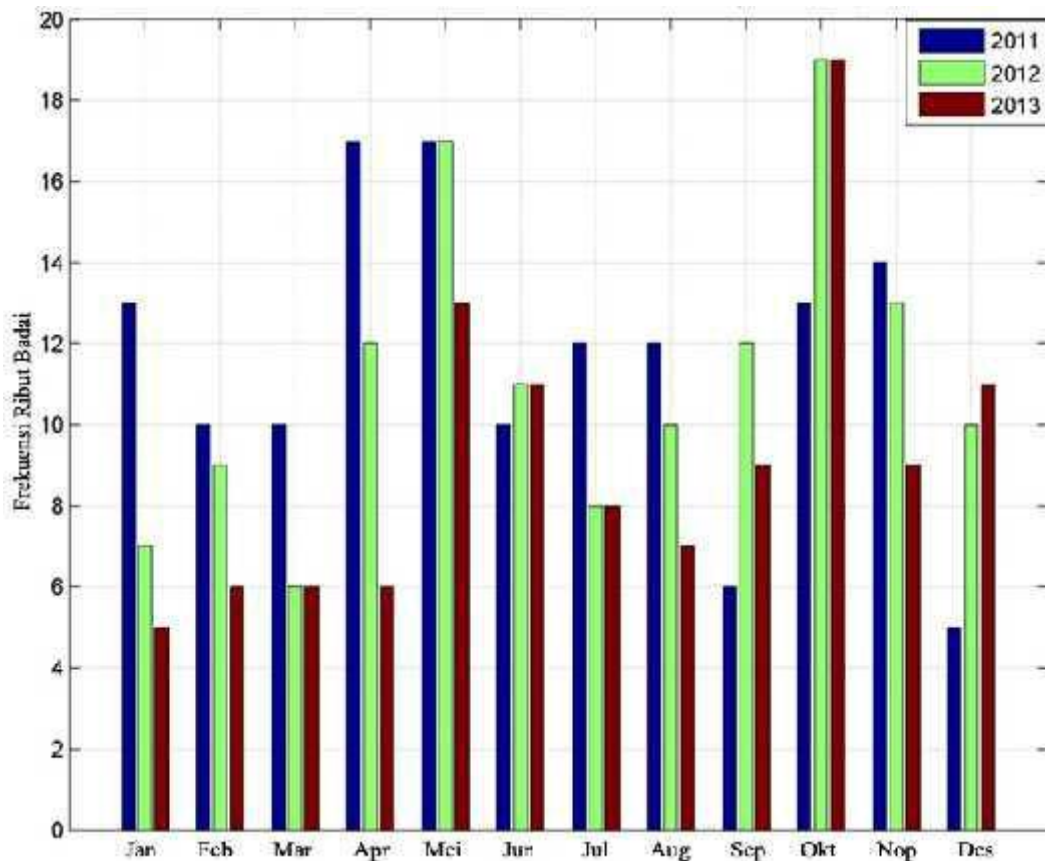
Gambar 2. Data tutupan awan (Okta) untuk 2011, 2012 dan 2013

Gambar 2b menunjukkan bahwa tren tutupan awan harian cenderung mengikuti distribusi normal di mana mayoritas tutupan awan adalah antara 6 dan 7. Ini muncul selama musim panas, di mana setiap tahun pada bulan Juni dan Juli 2011 hingga 2013 sering mengalami penutupan awan tinggi (5 okta) dibandingkan dengan bulan-bulan lainnya dalam tiga tahun terakhir. Namun, tutupan awan di tingkat ini kurang signifikan untuk menghasilkan ribut badai. Angin dan transfer panas akan menggeser dan menyerap pembentukan badai. Badai

akan terbentuk ketika awan cumulonimbus dikembangkan di langit di mana hujan lebat, salju atau hujan es, dan petir akan terjadi. Dengan kata lain, angin dingin sering memicu terjadinya badai.

3.3 Ribut Badai

Gambar 3 menunjukkan frekuensi badai di sekitar daerah Tawau untuk periode 2011-2013. Selama musim panas di tahun 2012 dan 2013, telah terjadi badai pada bulan Juni dan Juli, masing-masing dengan 11 dan 8 ribut badai. Juli dan Desember menunjukkan frekuensi terendah terjadinya ribut badai dibandingkan bulan lainnya karena musim kering terjadi di wilayah ini. Selama Juni dan Juli 2011, terjadi 10 dan 12 ribut badai, dibandingkan dengan rata-rata 8 dan 11 masing-masing pada tahun 2012 dan 2013. Perubahan musim di Asia selama musim panas di bulan Agustus 2012 adalah salah satu kondisi yang mempengaruhi cuaca di kawasan Asia Tenggara (Loo et al., 2015).



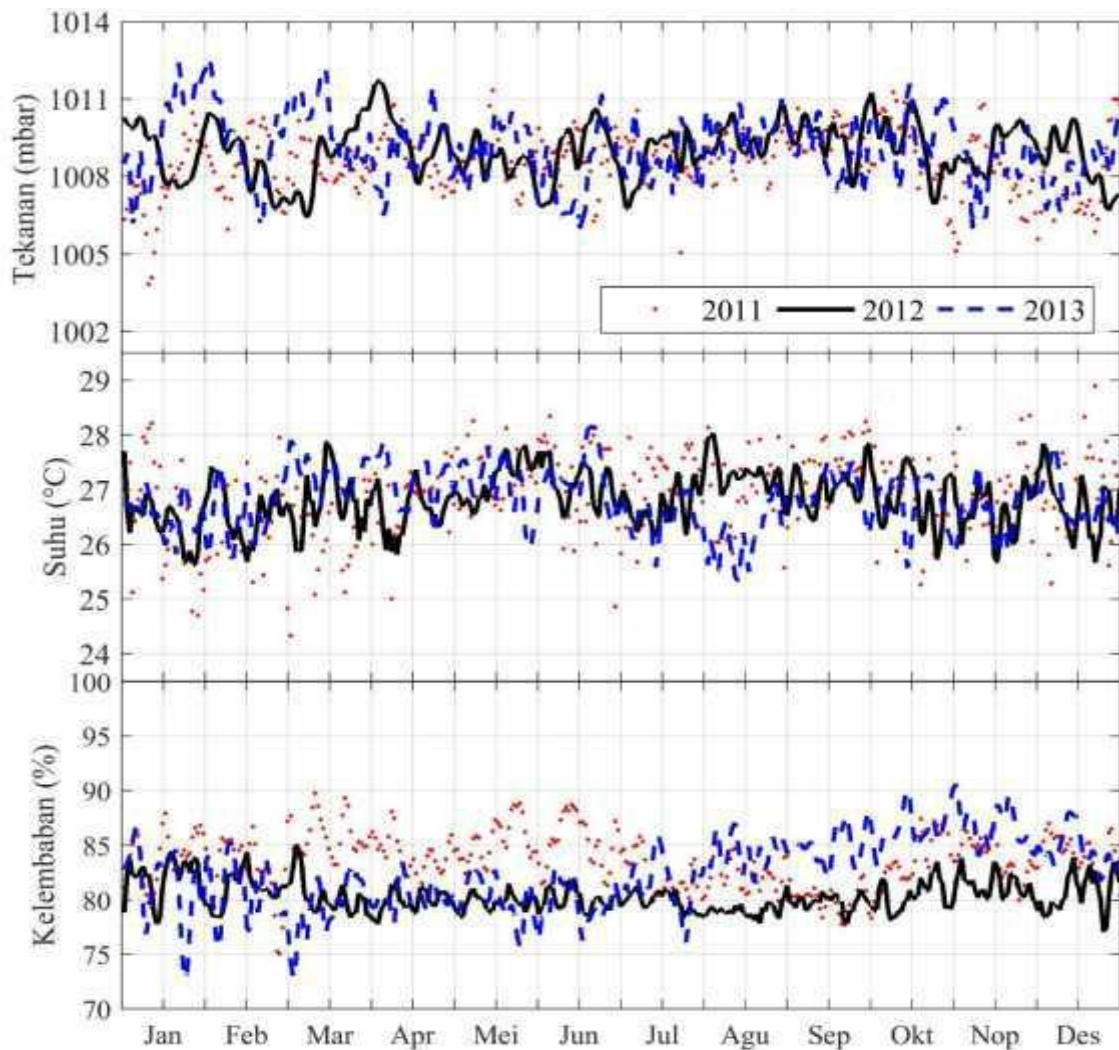
Gambar 3. Frekuensi terjadinya ribut badai di sekitar Tawau pada 2011, 2012, dan 2013

Frekuensi ribut badai dapat dikaitkan dengan data awan di mana selama musim panas di bulan Agustus 2011 dan 2012, frekuensi badai meningkat ketika awan berkurang. Ini kontras dengan temuan Panneerselvam et al. (2007) di mana dalam analisisnya menemukan bahwa kejadian badai petir berkorelasi positif dengan data awan. Satu yang dapat kita pelajari dari yang perbedaan ini adalah lokasi pengukuran atau karakteristik atmosfer di masing-masing daerah adalah tidak sama. Pola cuaca yang berbeda dapat mempengaruhi daratan/lautan dengan cara yang berbeda. Dengan kata lain, berbagai wilayah dengan komposisi atmosfer berbeda akan merespon dengan perbedaan pantulan radiasi matahari yaitu mekanisme dalam transfer energinya.

3.4 Data Meteorologi Permukaan

Tekanan permukaan, suhu, dan kelembaban relatif untuk daerah Tawau diplot seperti pada Gambar 4 untuk mengidentifikasi terjadinya badai. Selama musim kemarau di bulan Juli 2011, 2012 dan 2013, baik suhu maupun tekanan diperoleh bacaan tinggi sedangkan kelembaban adalah rendah. Berbeda dengan awal Agustus 2013, bacaan suhu adalah minimum dibandingkan suhu bulan lain pada tahun 2011, 2012, dan 2013. Pada keadaan ini, nilai kelembaban relatif dan tekanan permukaan di udara adalah sangat tinggi. Keadaan inilah memunculkan peluang untuk terjadinya badai adalah tinggi. Temuan ini sejalan dengan Suparta et al. (2011) di mana selama awal peningkatan suhu permukaan dan mulai menurunnya kelembaban relatif, akan menyebabkan peningkatan uap air dan peluang terjadinya ribut badai adalah tinggi. Dari gambar tersebut, bulan Oktober-November terlihat

bulan yang membawa cuaca ekstrim yang signifikan ke wilayah ini di mana tekanan menurun diikuti oleh peningkatan kelembaban di atmosfer. Wilayah terdampak yang dimaksud adalah Laut Sulawesi dimana imbas dari kejadian ini mempengaruhi aktivitas nelayan di laut dalam.

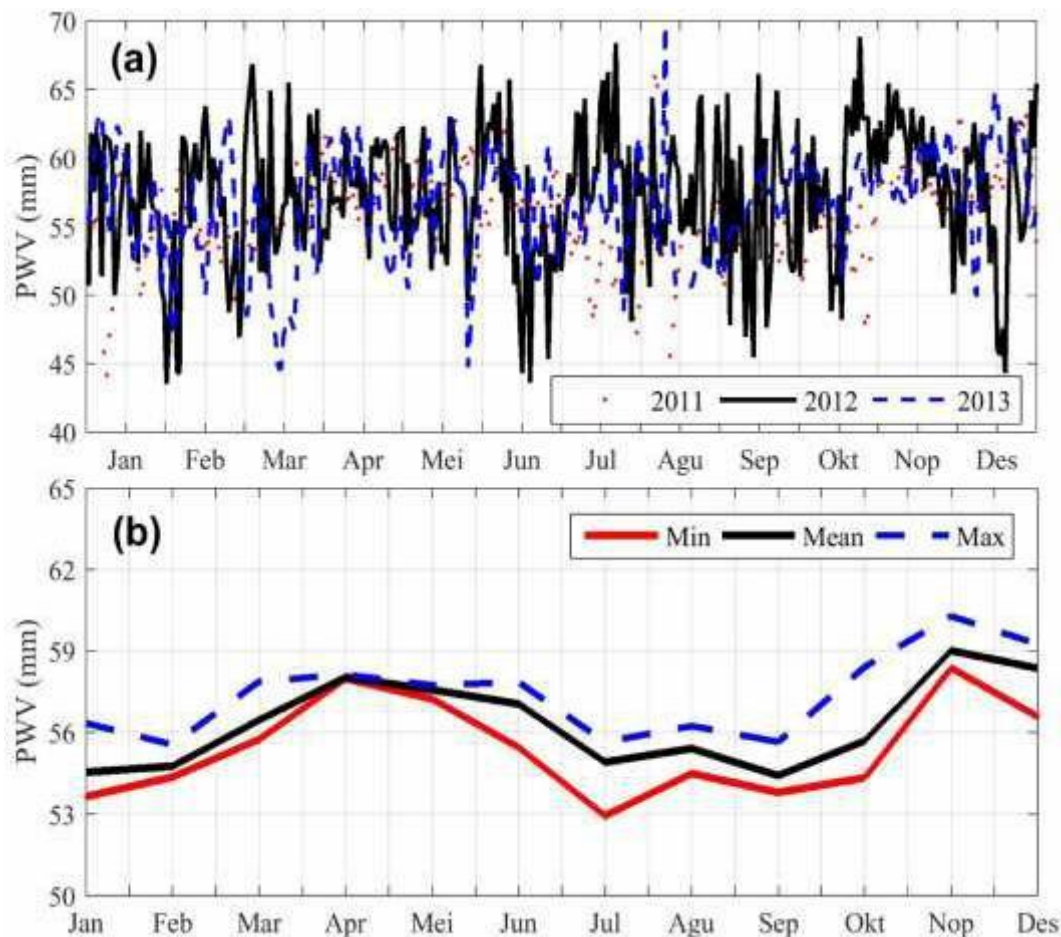


Gambar 4. Variasi tekanan permukaan, suhu, dan kelembaban relatif untuk periode 2011, 2012 dan 2013

3.5 PWV

Parameter meteorologi terakhir yang dilihat untuk mendeteksi pengaruhnya terhadap kemunculan badai adalah PWV. Gambar 5 menunjukkan PWV diambil dari Radiosonde untuk periode 2011-2013. Ada peningkatan PWV selama akhir Mei hingga awal Juni 2011. Jika dikaitkan dengan Gambar 3, badai tinggi selama waktu ini sering terjadi. Frekuensi ribut badai yang tinggi dapat dikaitkan dengan kejadian musim peralihan dimana kecenderungannya sama seperti yang diperoleh pada bulan Oktober-November di setiap tahun. Selama tahun 2012, PWV dengan data rata-rata harian diamati lebih tinggi di bulan Maret, awal Juni, Juli, September dan Oktober. Namun, pola tahunan PWV seperti pada Gambar 5a masih sulit diidentifikasi dan oleh karena itu, rata-rata bulanan diproses seperti pada Gambar 5b.

Gambar 5b ini dengan jelas menunjukkan bahwa uap air meningkat selama musim peralihan (intermonsun). ini berarti bahwa PWV juga merupakan salah satu parameter yang presisi untuk menggantikan data ribut badai jika datanya tidak tersedia, dimana bulan April-Mei dan Oktober menunjukkan posisi uap air yang tinggi. Uap air yang tinggi berpotensi menghasilkan ribut cuaca. Sementara uap air akan menurun selama musim hujan karena suhu relatif tinggi dan kelembaban relatif rendah. Untuk wilayah Malaysia, uap air dalam istilah PWV lebih dipengaruhi oleh kelembaban relatif daripada tekanan permukaan (Suparta & Alhasa, 2016). Ketika kelembaban relatif tinggi dan tekanan rendah, ini memberikan sinyal bahwa ada kemungkinan terjadi badai (atau frekuensi terjadinya badai). Secara implisit ini berarti bahwa badai tidak akan selalu terjadi jika PWV menurun atau meningkat. Ada faktor eksternal lain yang mempengaruhi pembentukan badai ini, terutama badai cuaca ketika roket sudah berada di luar angkasa atau menuju orbit.



Gambar 5. Variasi PWV di stasiun Tawau untuk tahun 2011, 2012 dan 2013 pada (a) setiap hari dan (b) rata-rata bulanan

3. KESIMPULAN

Karakterisasi data meteorologi permukaan telah dilakukan untuk daerah Tawau yang berdekatan dengan wilayah kemaritiman Indonesia yaitu Selat Makassar. Parameter meteorologi ditemukan berkorelasi tinggi dengan badai cuaca menjelang musim kemarau. Bulan Juli setiap tahun ditemukan dengan suhu tinggi rata-rata 28°C, tekanan rendah 1006 mbar dan kelembaban relatif di bawah 80% serta PWV serendah 45 mm. Faktor cuaca di musim ini dilihat berkontribusi besar pada pengurangan terjadinya ribut badai. Selama musim peralihan, Tawau dan sekitarnya ditandai sebagai musim yang kering atau musim panas di mana tekanan rendah dan suhu tinggi di udara akan menurunkan kelembaban relatif dan berkontribusi untuk menurunkan kadar uap air di udara. Dengan kata lain, ribut badai di sekitar daerah ini hingga ke radius 500 km dari Tawau lebih dipengaruhi oleh kelembaban relatif dan uap air.

Berdasarkan hasil penelitian di atas, kecepatan angin selama musim peralihan terjadi di kelas dua (1-4 knot). Angin kelas tiga (berbahaya) umumnya dari arah Selatan (Selat Makassar). Kesimpulannya, kondisi cuaca selama musim permulaan kemarau (Juni, Juli, Agustus - JJA) dengan rendahnya aktivitas ribut badai adalah sesuai untuk aktivitas kedirgantaraan. Sebaliknya di musim peralihan (Mei dan Oktober), aktivitas peluncuran roket perlu ditinjau ulang. Dengan penemuan awal ini, sebuah kerangka model badai cuaca dengan menggunakan pendekatan Kepakaran Manusia dalam Sistem Inferensi Neuro-Fuzzy Buatan (*Artificial Neuro-Fuzzy Interference System Human Expert* - ANFIS HE) siap dibangun untuk penelitian selanjutnya.

PUSTAKA

- Islam, M.R. Saidur, R. & Rahim, N.A. Assessment of wind energy potentiality at Kudat and Labuan, Malaysia using Weibull distribution function. *Energy*, 3(2): 985-992.
- Loo, Y.Y., Billa, L. & Singh, A. 2011. Effect of climate change on seasonal monsoon in Asia and its impact on the variability of monsoon rainfall in Southeast Asia. *Geoscience Frontiers*, 6(6): 817-823.

- Morris, C.J.G., Simmonds, I. & Plummer, N. 2001. Quantification of the Influences of Wind and Cloud on the Nocturnal Urban Heat Island of a Large City. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 40(2):169-182.
- Panneerselvam, C., Nair, K.U., Selvaraj, C., Jeeva, K., Anil Kumar, C.P. & Gurubaran, 2007. Diurnal variation of atmospheric Maxwell current over the low-latitude continental station, Tirunelveli, India (8.7°N, 77.8°E). *Earth, Planets and Space*, 59(5): 429–435.
- Pielke, R.A. 2001. Influence of the spatial distribution of vegetation and soils on the prediction of cumulus convective rainfall. *Reviews of Geophysics*, 39(2): 151-177.
- Suparta, W., Adnan, J. & Ali, M.A.M. 2011. *Monitoring the association between lightning activities during the 2009 winter monsoon over Bangi Malaysia*, 2011 International Conference on Environment Science and Engineering, 8, 101-106, (Online), (<http://www.ipcbee.com/vol8/23-S063.pdf>, diakses 6 Juni 2018).
- Suparta, W., Adnan, J. & Ali, M.A.M. 2014. Nowcasting the lightning activity in Peninsular Malaysia using the GPS PWV during the 2009 inter-monsoons. *Annals of Geophysics*, 57(2), A0127, doi: <https://doi.org/10.4401/ag-6373>.
- Suparta, W., Putro, W.S., Singh, M.S.J. & Asillam, M.F. 2015. Characterization of GPS and Meteorological Parameters for Mesoscale Convective Systems Model over Tawau, Malaysia. *Advanced Science Letters*, 21, doi:10.1166/asl.2015.5862.
- Suparta, W., & Alhasa, K.M. 2016. *Modeling of tropospheric delays using ANFIS*. Netherland: Springer International.
- WRPLOT View™: Wind rose plots for meteorological data, 2011. Release Notes, Lakes Environmental Software, (Online), (<http://www.weblakes.com>, diakses 1 Juni 2018).

POLA UNJUK KERJA KECEPATAN KOMPUTASI PARALEL MENGGUNAKAN CUDA PADA DEEP CONVOLUTIONAL NETWORK

Wiwien Widyastuti¹, Budi Darmawan²

¹Prodi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma
Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman.

Telp. (0274)883037

² Prodi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma
Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman.

Telp. (0274)883037

E-mail: wiwien@usd.ac.id, b.darmawan@usd.ac.id

ABSTRAK

Deep convolutional Networks (Convnet) merupakan algoritma dalam machine learning yang sering dipakai untuk sistem pengenalan pola. Algoritma ini mempunyai beban komputasi yang sangat besar sehingga pemrosesan komputasi secara sekuensial tidak sesuai apalagi jika menggunakan data yang besar. Penelitian ini bertujuan melihat pola unjuk kerja kecepatan komputasi pada deep convnet terhadap peningkatan jumlah data set menggunakan DIGITS didukung dengan CUDA. Penelitian dilakukan dengan membuat data set, membuat arsitektur jaringan serta membuat model jaringan. Data set diambil dari MNIST yang berisi 10 digit tulisan tangan. Jumlah data set dibuat bervariasi dari 200 data sampai dengan 60.000 data. Arsitektur jaringan yang digunakan adalah LeNet. Pelatihan untuk memperoleh model jaringan dilakukan dengan komputer yang mengimplementasikan GPU menggunakan CUDA 384 core. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan peningkatan jumlah data set maka waktu komputasi paralel juga akan meningkat secara linier dari sekitar 4 detik sampai 101 detik.

Kata Kunci: Deep Convnet, GPU, DIGITS, waktu komputasi

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini teknologi *machine learning* berperan besar dalam berbagai aspek kehidupan masyarakat modern. Suatu sistem yang menggunakan teknologi *machine learning* dapat mengidentifikasi objek tertentu pada citra, mengubah suatu percakapan ke dalam teks, mencocokkan berita, mengunggah produk sesuai minat pengguna, dan memilih hasil yang relevan pada suatu pencarian (Yann, 2015).

Deep learning merupakan metode/algoritma yang saat ini banyak digunakan pada teknologi *machine learning*. Salah satu jenis deep learning yang seringkali digunakan untuk pengenalan citra adalah *deep convolutional neural networks*.

Algoritma deep Convnet mempunyai beban komputasi yang sangat tinggi sehingga diperlukan perangkat komputer yang dapat melakukan komputasi dengan cepat. Melakukan komputasi secara sekuensial tidak sesuai untuk menyelesaikan permasalahan dengan data yang besar (*large-scale*). Perkembangan teknologi komputer yang pesat apalagi dengan jumlah core prosesor dalam Central Processing Units (CPU) yang banyak memungkinkan pemrosesan paralel yang meningkatkan kemampuan komputasi sehingga waktu pemrosesan menjadi jauh lebih singkat.

1.2 Tinjauan Pustaka

Penggunaan metode *deep convolutional networks (ConvNets)* untuk pengenalan atau klasifikasi citra telah banyak dilakukan oleh para peneliti. Alex Krizhevsky, Ilya dan Geoffrey menggunakan *deep ConvNets* untuk klasifikasi data yang cukup besar sebanyak 1,2 juta citra ke dalam 1000 kelas dengan *error rate* 37,5% (Alex, 2012).

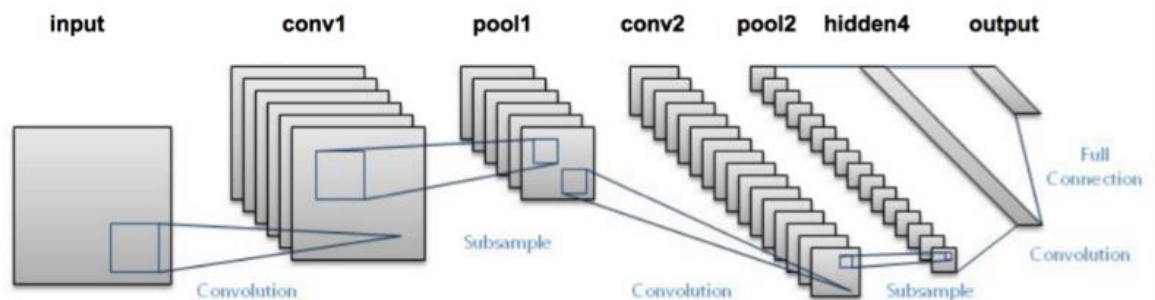
Pierre, Soumith dan Yann LeCun menggunakan *deep ConvNets* untuk klasifikasi digit pada nomor rumah dan memperoleh akurasi 94,85% (Pierre S et al, 2012). Michael Nielsen menerapkan *deep ConvNets* untuk mengenali angka tulisan tangan dan memperoleh akurasi klasifikasi 99,06% (Adrian, 2016). Semua penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa *deep ConvNets* memberikan hasil yang baik khususnya pada bidang pengenalan/klasifikasi pola.

Saat ini, Graphics Processing Units (GPU) mempunyai unjuk kerja yang lebih baik daripada CPU dalam operasi *floating point* dan lebar pita memori. Salah satu platform computing dan model pemrograman dalam GPU adalah Compute Unified Device Architecture (CUDA) (NVIDIA Corp, 2018). GPU dengan CUDA menawarkan unjuk kerja yang tinggi dengan biaya yang sangat murah, dan dapat diintegrasikan ke dalam sistem komputer berunjuk kerja tinggi (Coates, 2013) (Tan, 2016). Pemrograman paralel menggunakan GPU dengan CUDA ini juga telah terbukti memperbaiki kecepatan komputasi untuk menyelesaikan permasalahan *elasticity* (Darmawan, 2016).

Kemampuan pemrosesan paralel menggunakan GPU dengan CUDA ini sangat mendukung bidang Artificial Intelligence khususnya dalam bidang teknologi *machine learning*. NVIDIA sebagai pembuat CUDA telah mengembangkan Deep Learning GPU Training System (DIGITS) yang dapat memanfaatkan kemampuan CUDA untuk melakukan komputasi *deep convolutional neural networks*. Dalam tulisan ini peneliti mencoba mengamati pola unjuk kerja kecepatan komputasi paralel pada *deep convolutional neural networks* terhadap peningkatan jumlah data set menggunakan CUDA yang mendukung komputasi paralel.

1.2.a. Deep Convolutional Network

Deep convolutional network merupakan pengembangan dari *Convolutional Network* (ConvNets) konvensional. Sebuah *stage* ConvNets konvensional terdiri dari dua tipe lapisan yaitu lapisan konvolusional dan lapisan *pooling*. Jika selanjutnya lapisan konvolusional dan lapisan *pooling* dianggap sebagai sebuah lapisan tunggal yaitu lapisan *convolutional-pooling*, maka *deep ConvNets* menggunakan lebih dari sebuah lapisan *convolutional-pooling*. Contoh arsitektur *deep Convnets* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Contoh Arsitektur Deep Convolutional Network (Yan, 1998)

1.3 Metodologi Penelitian

Metode penelitian dilakukan dengan tahap berikut :

- Membuat data set
- Membuat arsitektur jaringan
- Membuat model jaringan/pelatihan

1.3.a. Membuat Data Set

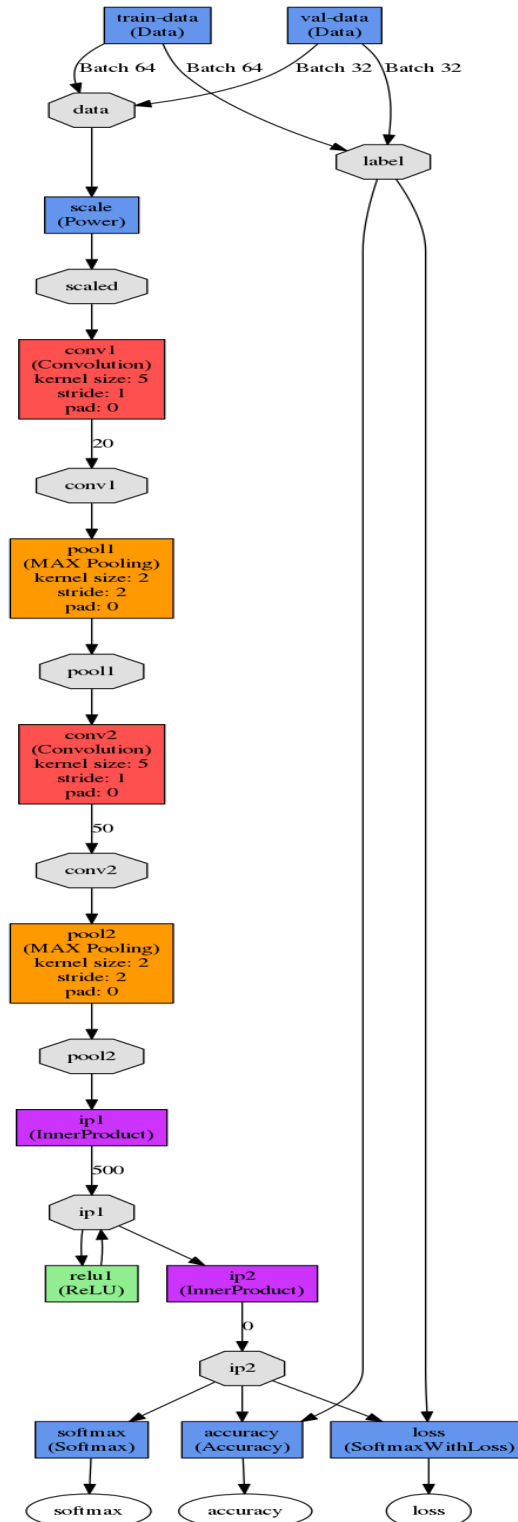
Data set yang digunakan adalah data set yang berisi 10 macam digit tulisan tangan : 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Data set diperoleh dari MNIST data set. Jumlah data yang digunakan sebagai data set dibuat bervariasi, yaitu 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000, 10.000, 20.000, 30.000, 40.000, 50.000 dan 60.000. Ukuran citra dari data adalah 28x28 *pixel* dengan format *grayscale*. Contoh data dapat dilihat pada gambar 2.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Gambar 2. Contoh data pada MNIST data set

1.3.b. Membuat Arsitektur Jaringan

Arsitektur *deep ConvNets* menggunakan arsitektur LeNet dari Yann LeCun. Diagram alir dari LeNet dapat dilihat pada Gambar 3. Lapisan yang digunakan adalah lapisan *convolution_1*, *max-pooling_1*, *convolution_2*, *max-pooling_2*, *fully-connected_1*, *fully-connected_2*.



Gambar 3. Diagram Alir Arsitektur LeNet (dari *software DIGITS*)

1.3.c. Membuat Model Jaringan/Pelatihan

Pembuatan model *deep Convnets* atau tahap pelatihan merupakan tahap untuk menetapkan parameter-parameter yang akan digunakan untuk pengenalan. Pembuatan model menggunakan perangkat lunak DIGITS 8 dari NVIDIA dengan sistem operasi Linux Ubuntu 16.04 LTS. Spesifikasi computer yang digunakan adalah komputer dengan prosesor Intel Core 2 Quad Q6600, RAM 8 GB, dilengkapi GPU NVIDIA GT 730 384 core memory 2GB dengan CUDA yang mendukung pemrosesan secara paralel.

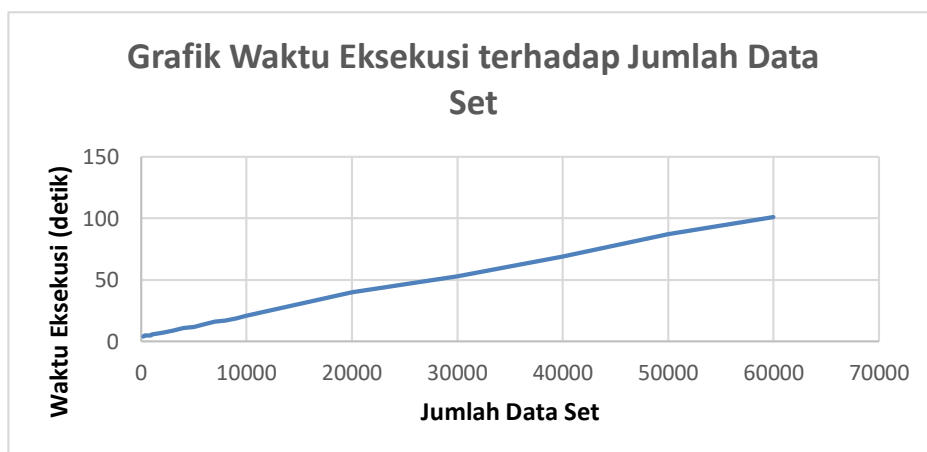
Untuk melihat unjuk kerja kecepatan, digunakan sebanyak 24 variasi model yang menggunakan 24 data set dengan jumlah yang bervariasi pula. Data set yang digunakan sebanyak 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000, 10.000, 20.000, 30.000, 40.000, 50.000 dan 60.000. Pelatihan menggunakan metode *Stochastic Gradient Descent* dengan *learning rate* awal 0.01, dengan epoch sejumlah 10.

Foster menyebutkan bahwa waktu eksekusi (yang bervariasi terhadap ukuran masalah) dan efisiensi (yang independen terhadap ukuran masalah) dapat digunakan sebagai metric untuk mengevaluasi unjuk kerja algoritma paralel (Foster, 1995). Namun menurut Tan (Tan, 2016), dalam komputasi paralel GPU, waktu eksekusi diuji dalam platform perangkat keras dengan arsitektur yang berbeda yaitu CPU dan GPU. Efisiensi menjadi metric yang tidak berguna dalam arsitektur ini tidak seperti analisis dalam paralel dalam arsitektur CPU. Oleh karena itu, peneliti mengevaluasi hasil komputasi hanya menggunakan waktu eksekusi.

2. PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil Pengamatan Waktu Eksekusi Pembuatan Model Deep Convnet

No.	Jumlah Data Set	Jumlah Data Pelatihan	Jumlah Data Validasi	Waktu Eksekusi (detik)
1.	200	150	50	4
2.	300	225	75	5
3.	400	300	100	5
4.	500	375	125	5
5.	600	450	150	5
6.	700	525	175	5
7.	800	600	200	5
8.	900	675	225	5
9.	1000	750	250	6
10.	2000	1500	500	7
11.	3000	2250	750	9
12.	4000	3000	1000	11
13.	5000	3750	1250	12
14.	6000	4500	1500	14
15.	7000	5250	1750	16
16.	8000	6000	2000	17
17.	9000	6750	2250	19
18.	10000	7500	2500	21
19.	20000	15000	5000	40
20.	30000	22500	7500	53
21.	40000	30000	10000	69
22.	50000	37500	12500	87
23.	60000	45000	15000	101



Gambar 4. Grafik Waktu Eksekusi terhadap Jumlah Data Set

Hasil pengamatan waktu eksekusi pembuatan model Deep Convnet dengan 23 variasi jumlah data set dapat dilihat pada tabel 1. Grafik pengaruh data set pada waktu eksekusi pembuatan model dan pengenalan dapat dilihat pada gambar 4.

Dari grafik pada gambar 4 dapat dilihat bahwa untuk peningkatan jumlah data set dari 200 sampai 60000 dengan perincian 75% untuk data pelatihan dan 25% untuk data validasi maka waktu komputasi deep convolutional neural networks untuk pelatihan dan validasi akan meningkat secara linier dari sekitar 4 detik sampai 101 detik.

3. KESIMPULAN

Simpulan yang diperoleh dari penelitian pengamatan unjuk kerja kecepatan waktu komputasi parallel menggunakan CUDA untuk pembuatan model dan validasi untuk klasifikasi tulisan tangan digit dari data set MNIST menggunakan arsitektur LeNet deep convNets adalah untuk peningkatan jumlah data set dari 200 sampai 60000 dengan proporsi data set pelatihan model 75% dan dataset validasi 25% maka waktu komputasi akan meningkat secara linier.

PUSTAKA

- Adrian R. 2016. *Lenet -Convolutional Neural Network in Python*. Deep Learning Tutorials.
- Alex K, Ilya S, Geoffrey H. 2012. *ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Network*. Neural Information Processing Systems Conference.
- Coates A, Huval B, Wang T, Wu D J and Ng A Y. 2013. *Deep learning with COTS HPC Systems*. Proceedings of the International Conference on Machine Learning (ICML) (Atlanta, GA,USA) 1337
- Darmawan J B B and Mungkasi S. 2016. *Parallel Computations Using a Cluster of Workstations to Simulate Elasticity Problems*. Journal of Physics: Conference Series accepted
- Foster I .1995. *Designing and Building Parallel Programs: Concepts and Tools for Parallel Software Engineering* (Boston: Addison-Wesley)
- Pierre S, Soumith C, Yann L. 2012. *Convolutional Neural Networks Applied to House Numbers Digit Classification*. International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2012).
- NVIDIA Corp. 2018. *CUDA C Programming Guide*. Available online (diakses pada 16 Juni 2018). <https://docs.nvidia.com/cuda/cuda-c-programming-guide>
- Tan Y, Ding K. 2016. *A Survey on GPU-based Implementation of Swarm Intelligence Algorithms*. IEEE Transactions on Cybernetics 46 2028.
- Yann L, Bottou, Bengio, Haffner.1998. *Gradient-based Learning Applied to Document Recognition*. Proc. IEEE.; 86(11): 2278–2324.
- Yann L, Yoshua B, Geoffrey H. 2015.*Deep Learning*. Nature; 521:436-444

ANALISIS TAHANAN KONTAK PERMUKAAN PADA PENGHANTAR TEMBAGA DAN TEMBAGA BERLAPIS TIMAH

Syahir Mahmud¹, Limbran Sampebatu² Jerry Rukait³

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Makassar

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Makassar

³Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Makassar

Jl. Tanjung Alang No. 23, Makassar

E-mail: syahir@mut.co.id, elsampebatu@gmail.com, jerry_rossi@ymail.com

ABSTRAK

Sampai saat ini masalah tahanan kontak dalam dunia kelistrikan masih belum bisa diatasi, terutama pada titik persambungan. Pada titik persambungan masing-masing konduktor bertemu secara fisik sehingga arus dapat tersalurkan, namun pada proses penyaluran tersebut memiliki hambatan sehingga mengakibatkan panas dan kerugian teknis. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan menganalisis tahanan kontak antara dua permukaan konduktor tembaga dari beberapa macam titik persambungan. Metoda yang dilakukan adalah metoda eksperimen berupa injeksi arus dan pengukuran jatuh tegangan antara kedua terminal objek yang diteliti. Pada plat tembaga salah satu sisinya dilapisi timah dan sisi yang lainnya tidak dilapisi timah (tembaga murni), telah dilakukan juga pengukuran tahanan kontak antara skun dengan plat tembaga dan skun dengan plat tembaga dipertine. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, diperoleh hasil bahwa pengukuran antara plat tembaga dengan plat tembaga yang dilapisi timah memiliki hasil pengukuran yang lebih rendah dibandingkan dengan hasil pengukuran lainnya. Dari seluruh hasil pengukuran yang diperoleh maka dapat diketahui juga nilai rata-rata keseluruhannya sebesar $29.74 \mu\Omega$, maksimalnya yaitu $50 \mu\Omega$, minimumnya yaitu $10 \mu\Omega$ dan nilai simpangan baku (standard deviation) adalah $13.37 \mu\Omega$. Berdasarkan hasil rata-rata keseluruhan yang didapat maka dapat disimpulkan bahwa hasil pengukuran tahanan kontak dari berbagai macam titik persambungan ini tidak melewati standar tahanan kontak yang ditetapkan oleh PLN yaitu kurang dari $50 \mu\Omega$.

Kata kunci: plat tembaga, tahanan kontak, titik persambungan, jatuh tegangan.

1. PENDAHULUAN

Dalam sistem penyaluran tenaga listrik, sebagian besar terdiri dari banyak titik sambungan. Dalam hal ini beberapa jenis konduktor bertemu secara fisik sehingga arus atau energi listrik dapat disalurkan tanpa adanya hambatan yang berarti. Namun pertemuan dari beberapa konduktor menyebabkan suatu hambatan terhadap arus yang melaluinya sehingga mengakibatkan panas dan juga kerugian teknis. Rugi-rugi ini sangat signifikan apabila tahanan kontak bernilai cukup tinggi. Tahanan kontak banyak didapati pada titik persambungan antara konduktor, misalnya pada CB (*Circuit Breaker*), MCB (*Mini Circuit Breaker*), Saklar (*Disconnecting Switch*) dan peralatan lainnya dalam suatu instalasi tenaga, rumah tangga, industry dan bangunan lainnya. Oleh sebab itu perlu dikaji lebih dalam agar diperoleh solusi atas permasalahan tersebut. Pokok permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah: berapa besar nilai tahanan kontak antara dua permukaan konduktor tembaga dan bagaimana cara mengatasi tahanan kontak yang besar antara dua permukaan konduktor tembaga.

Dari permasalahan tersebut di atas maka ditentukan tujuan penelitian ini adalah: mengukur tahanan kontak antara dua permukaan konduktor tembaga dari beberapa macam titik persambungan dan selanjutnya menganalisis tahanan kontak dari beberapa macam titik persambungan.

Titik berat penelitian ini meliputi plat tembaga yang digunakan berukuran panjang 500 mm, lebar 50 mm dan tebal 5 mm. Kawat tembaga pilin (BCC) berukuran 95 mm^2 , 70 mm^2 dan 50 mm^2 dan besarnya arus DC yang diinjeksikan sebesar 100A, 200A dan 300A. Dalam penelitian ini suhu sekitar tidak dipertimbangkan.

Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan sosialisasi program studi kepada masyarakat umum dan khususnya kepada penggiat instalasi listrik baik tegangan rendah, tegangan menengah dan tegangan tinggi serta pabrikan pembuat panel distribusi. Hal ini penting untuk disampaikan karena akan bermanfaat sebagai pedoman dalam setiap pemasangan sambungan pada instalasi, baik instalasi rumah dan bangunan, industry, maupun pada titik persambungan jaringan distribusi tegangan menengah dan tegangan tinggi serta persambungan di dalam panel-panel distribusi yang terminasinya banyak menggunakan mur-baut. Sosialisasi hasil penelitian ini nantinya banyak membantu peningkatan kualitas kerja dan kualitas hasil pekerjaan dari pengusaha mikro kecil dan menengah (UMKM) yang banyak digeluti alumni Teknik Elektro di Sulawesi Selatan ini.

1.1 Tinjauan Pustaka

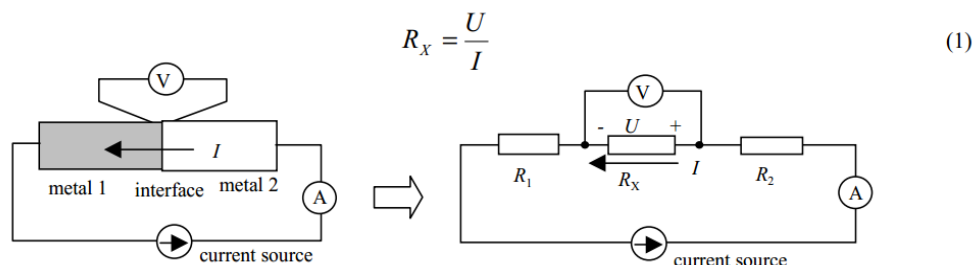
Cara Mengukur Tahanan Kontak

Menurut Min Liu ^[1], dalam sistem kelistrikan titik sambungan memiliki berbagai macam cara penyambungan yaitu dengan cara pengelasan (*welded*), menekan (*compression*) dan menyambungkannya dengan menggunakan baut (*bolted*). Kualitas dan karakteristik sebuah titik persambungan dapat diketahui dengan cara mengukur tahanan kontakannya, semakin kecil tahanan kontak konduktor tersebut maka semakin baik daya hantarnya, tahanan kontak sebuah titik persambungan juga tergantung dari panjang dan luas permukaan konduktor itu sendiri.

Pada aspek perakitan sebuah circuit breaker, ada begitu banyak pengetesan yang dilakukan, namun yang fokus dibahas dalam materi ini ialah tentang tahanan kontak. Sebelum circuit breaker tersebut digunakan di pabrik-pabrik besar maupun gardu-gardu listrik, terlebih dahulu diukur dan dianalisa tahanan kontakannya, arus pengetesan tahanan kontak yang biasa diinjeksikan yaitu 100A, 200A, 300A tergantung dari masing-masing pabrikan pembuatan circuit breaker atau yang umum disebut PMT tersebut. Pengukuran tahanan kontak dapat juga digunakan pada industri permesinan.

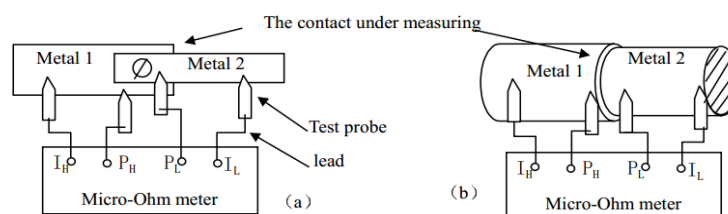
Dengan mengukur resistansi kontak dapat diketahui dan dianalisis keandalan dan kerapatan dari perakitan mesin. Teknik ini sudah diterapkan dan diuji kualitas perakitan perisai untuk EMC. Metode pengukuran untuk aplikasi yang berbeda adalah tidak sama. Misalnya, dalam kasus mengukur resistansi kontak dari switch daya besar harus digunakan arus yang besar (sekitar 100 A) ^[2] atau lebih. Arus yang besar dapat mencairkan lapisan oksida dan debu antara pasangan atau permukaan kontak.

Sebuah metode baru yang sangat berguna untuk mengukur resistansi kontak dalam merakit mesin yang rumit. Resistansi kontak didefinisikan sebagai rasio tegangan kontak dengan arus mengalir melalui sepasang kontak tertutup. ^{[3] [4]} Ini selaras dengan hukum Ohm. Pada Gambar 1, ada sebuah sambungan atau hubungan antara logam 1 dan logam 2. Arus (*I*) yang berasal dari sumber arus mengalir melalui sambungan ini, Arus yang mengalir dapat dibaca dari Ammeter dan kemudian susut tegangan pada sambungan dapat dibaca dari voltmeter sebagai *U*. Maka nilai tahanan kontak R_x , dapat dilihat pada persamaan (1).



Gambar 1. Cara mengukur tahanan kontak (R_x)

Salah satu cara mengukur tahanan kontak yang sering digunakan adalah metoda empat terminal merupakan teknik pengukuran yang normal, yang selalu diterapkan dalam mengukur resistansi rendah untuk mencegah resistansi penghantar alat ukur (*lead wire*) masuk ke dalam pengukuran ^{[3] [4] [6] [7]} berikut diperlihatkan cara pengukuran tahanan kontak dengan metoda pengukuran langsung. Dalam hal ini digunakan DMM (digital mikro-ohm meter) yang dapat membaca nilai tahanan kontak langsung, seperti yang ditampilkan di Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Pengukuran langsung dengan resistansi meter

Alat yang biasa digunakan dalam pengukuran langsung disebut dengan *micro ohm meter* sebagaimana diperlihatkan pada gambar-3 dan digunakan untuk mengukur tahanan antara terminal masuk dan terminal keluar pada setiap persambungan seperti pada alat hubung utama kubikel. Nilai yang dihasilkan adalah dalam besaran micro atau sepersatu juta ohm. Dua terminal alat ukur yang dihubungkan ke terminal masuk dan keluar akan mengalirkan arus searah dengan nilai bervariasi dari 100A, 200A dan 300A. Sebenarnya yang terukur pada alat ukurnya adalah jatuh tegangan antara 2 (dua) terminal yang terhubung dengan alat ukur, tetapi kemudian nilainya dikalibrasikan menjadi satuan micro ohm. ^[2]



Gambar 3. Micro ohm meter

Masalah Pengukuran Tahanan Kontak

Ada 4 macam alasan yang menyebabkan ketidakpastian pengukuran:

- Pemasangan kontak yang tidak sempurna menyebabkan terjadinya susut tegangan yang besar.
- Debu atau kotoran pada permukaan kontak bisa menyebabkan terjadinya panas pada permukaan kontak.
- Kerapatan pada permukaan kontak juga dapat mempengaruhi area kontak.
- Ketidaktepastian pengukuran tahanan kontak juga disebabkan oleh instrumen pengukuran.

Standar nilai tahanan kontak

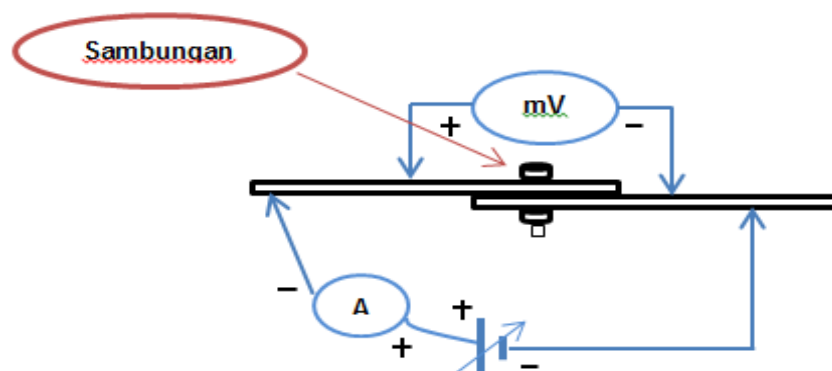
Acuan yang digunakan sebagai referensi nilai tahanan kontak adalah nilai tahanan kontak pada CB yang normal yang diakui oleh PLN. Masing-masing pabrik CB mempunyai nilai standard masing-masing sesuai merknya, sebagai contoh adalah sebagai berikut:

- Standar G.E. $\leq 100 - 350 \mu\Omega$
- Standar ASEA $\leq 45 \mu\Omega$
- Standar MG $\leq 35 \mu\Omega$
- Standar PLN yang digunakan sebagai patokan pengujian yaitu $\leq 50 \mu\Omega$, lalu apabila tidak tercantum pada nameplate peralatan, maka standarnya $\leq 100 \mu\Omega$ (sesuai dengan Operasi & Maintenance CB).^[1]

Metode Pengukuran Tahanan Kontak

Berikut ini adalah beberapa cara untuk memeriksa tahanan kontak pada sebuah titik persambungan dengan merujuk pada gambar 4 di bawah:

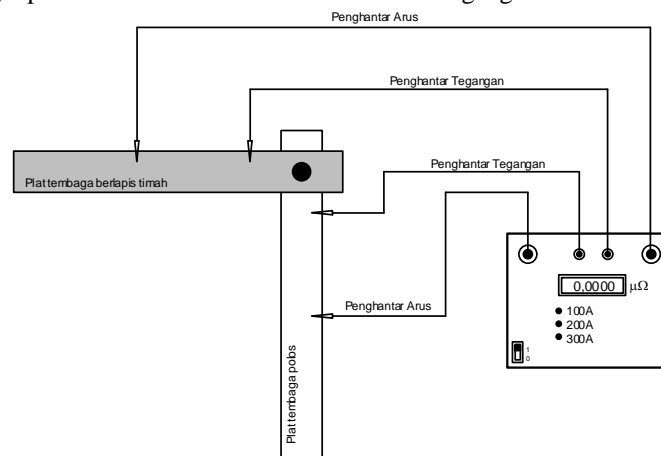
- Menyediakan sumber DC yang dapat diatur
- Membuat rangkaian pengukuran
- Membuat nilai ammeter = 100A, 200A, 300 A dan membaca mikrovolt meter
- Menghitung nilai tahanan = V/I
- Apabila nilai tahanan kontak tinggi maka akan menjadi sumber panas sewaktu dialiri arus listrik. Apabila terjadi seperti pada poin e di atas, maka yang harus dilakukan adalah:
 - Baut dan mur dibuka kemudian permukaan kontak dibersihkan dan diratakan.
 - Sambungan kembali dipasang.
 - Mengukur kembali tahanan kontak.
 - Membersihkan kembali permukaan kontak jika tahanan kontak masih besar.^[5]



Gambar 4. Cara memeriksa tahanan kontak pada sambungan^[5]

1.2 Metodologi Penelitian

Implementasi dari gambar 4 di atas diperlihatkan seperti pada gambar 5 berikut yang terdiri dari sebuah Micro-Ohm meter dengan spesifikasi, tegangan input 220VAC 50Hz, dan keluaran arusnya tiga tahap yaitu 100A, 200A dan 300A. Alat tersebut dilengkapi micro-ohm meter dan terminal arus-tegangan.



Gambar 5. Plat pertine dengan Plat

2. PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dipaparkan hasil dan pembahasan penelitian, yaitu hasil pengukuran dan analisis besar tahanan kontak pada plat tembaga murni, plat tembaga dipertine dan skun. Dalam pengukuran ini arus yang diinjeksikan pada bahan sebesar 100, 200, 300 ampere dengan kekencangan baut yang sama, pengukuran ini dilakukan sebanyak 10 kali pengukuran dengan interval waktu yang sama yaitu 5 menit agar suhu pada bahan tidak naik sehingga hasil pengukuran bisa lebih baik. Hasil pengukuran diperlihatkan pada tabel-tabel berikut.

A. Hasil Pengukuran

Tabel 1. Hasil Pengukuran Tahanan Kontak antara Plat Tembaga dengan Plat Tembaga

No.	Arus Injeksi (ampere)	Hasil Pengukuran Tahanan Kontak ($\mu\Omega$)										Rata-rata ($\mu\Omega$)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	100	21	22	23	24	24	18	19	20	21	20	21.2
2.	200	19	21	21	21	21	19	19	20	23	18	20.2
3.	300	20	23	22	23	23	19	19	21	20	21	20.8
												20.73

Setelah dilakukan pengukuran sebanyak 30 kali dengan masing-masing 10 kali dengan 3 besaran arus injeksi yang berbeda-beda yaitu 100, 200 dan 300 ampere. Maka dapat dilihat pada tabel hasil pengukurannya tidak jauh berbeda. Dari hasil pengukuran dan nilai rata-rata hasil pengukuran terlihat bahwa selisihnya juga relatif tidak jauh berbeda.

Setiap grafik dibuat dari nilai tahanan kontak terhadap besar arus injeksinya dan diperoleh tiga buah grafik yang mewakili besar arus injeksi masing-masing 100, 200 dan 300 ampere. Dari grafik tersebut bisa dilihat bahwa tiap grafik hasil pengukuran hampir saling berhimpitan terhadap hasil pengukuran yang lain. Terlihat pula bahwa besarnya arus injeksi yang diberikan tidak mempengaruhi nilai tahanan kontak secara signifikan. Perbedaan hasil pengukuran dapat juga dinyatakan dalam bentuk simpangan baku (standard deviation). Besarnya simpangan baku dari hasil pengukuran tahanan kontak plat tembaga dan plat tembaga adalah $1.68 \mu\Omega$. Hasil pengukuran dan nilai rata-rata dari bahan plat tembaga dan plat tembaga ini memenuhi standar PLN yaitu $< 50 \mu\Omega$.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Tahanan Kontak Antara Plat Tembaga dengan Skun 95 mm²

No.	Arus Injeksi (amper)	Hasil Pengukuran Tahanan Kontak ($\mu\Omega$)										Rata-rata ($\mu\Omega$)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	100	43	44	43	42	44	42	43	45	43	43	43.2
2.	200	45	42	41	42	42	44	45	45	43	42	43.2
3.	300	45	43	41	42	42	45	44	43	43	42	43
												43.1

Setelah dilakukan pengukuran sebanyak 30 kali dengan masing-masing 10 kali dengan 3 besaran arus injeksi yang berbeda-beda yaitu 100, 200 dan 300 amper. Maka dapat dilihat pada tabel hasil pengukurannya tidak jauh berbeda. Dari hasil pengukuran dan nilai rata-rata hasil pengukuran terlihat bahwa selisihnya juga relatif tidak jauh berbeda.

Setiap grafik dibuat dari nilai tahanan kontak terhadap besar arus injeksinya dan diperoleh tiga buah grafik yang mewakili besar arus injeksi masing-masing 100, 200 dan 300 ampere. Dari grafik tersebut bisa dilihat bahwa tiap grafik hasil pengukuran hampir saling berhimpitan terhadap hasil pengukuran yang lain. Terlihat pula bahwa besarnya arus injeksi yang diberikan tidak mempengaruhi nilai tahanan kontak secara signifikan. Perbedaan hasil pengukuran dapat juga dinyatakan dalam bentuk simpangan baku (standard deviation). Besarnya simpangan baku dari hasil pengukuran tahanan kontak plat tembaga dan skun 95 mm² adalah 24 $\mu\Omega$. Hasil pengukuran dan nilai rata-rata dari bahan plat tembaga dan skun 95 mm² ini memenuhi standar PLN yaitu $< 50 \mu\Omega$.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Tahanan Kontak Plat Tembaga dengan Skun 70 mm²

No.	Arus Injeksi (amper)	Hasil Pengukuran Tahanan Kontak ($\mu\Omega$)										Rata-rata ($\mu\Omega$)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	100	48	48	49	48	47	45	48	48	49	49	47.9
2.	200	48	50	47	47	49	49	46	48	48	48	48
3.	300	49	46	47	47	47	48	49	48	48	50	47.9
												47.93

Setelah dilakukan pengukuran sebanyak 30 kali dengan masing-masing 10 kali dengan 3 besaran arus injeksi yang berbeda-beda yaitu 100, 200 dan 300 amper. Maka dapat dilihat pada tabel hasil pengukurannya tidak jauh berbeda. Dari hasil pengukuran dan nilai rata-rata hasil pengukuran terlihat bahwa selisihnya juga relatif tidak jauh berbeda.

Terlihat juga nilai tahanan kontak terhadap besar arus injeksi masing-masing 100, 200 dan 300 ampere tidak mempengaruhi nilai tahanan kontak secara signifikan. Perbedaan hasil pengukuran dapat juga dinyatakan dalam bentuk simpangan baku (standard deviation). Besarnya simpangan baku dari hasil pengukuran tahanan kontak plat tembaga dan skun 70 mm² adalah 1.14 $\mu\Omega$. Hasil pengukuran dan nilai rata-rata dari bahan plat tembaga dan skun 70 mm² ini memenuhi standar PLN yaitu $< 50 \mu\Omega$.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Tahanan Kontak antara Plat Tembaga dengan Skun 50 mm²

No.	Arus Injeksi (amper)	Hasil Pengukuran Tahanan Kontak ($\mu\Omega$)										Rata-rata ($\mu\Omega$)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	100	47	45	48	48	50	50	50	48	49	50	48.5
2.	200	48	48	47	46	49	49	49	50	48	49	48.3
3.	300	48	49	48	50	49	49	47	48	48	49	48.5
												48.43

Setelah dilakukan pengukuran sebanyak 30 kali dengan masing-masing 10 kali dengan 3 besaran arus injeksi yang berbeda-beda yaitu 100, 200 dan 300 amper. Maka dapat dilihat pada tabel hasil pengukurannya tidak jauh berbeda. Dari hasil pengukuran dan nilai rata-rata hasil pengukuran terlihat bahwa selisihnya juga relatif tidak jauh berbeda. Terlihat pula bahwa besarnya arus injeksi yang diberikan tidak mempengaruhi nilai tahanan kontak secara signifikan. Perbedaan hasil pengukuran dapat juga dinyatakan dalam bentuk simpangan baku (standard deviation). Besarnya simpangan baku dari hasil pengukuran tahanan kontak plat tembaga dan skun 50 mm² adalah 1.22 $\mu\Omega$. Hasil pengukuran dan nilai rata-rata dari bahan plat tembaga dan skun 50 mm² ini memenuhi standar PLN yaitu < 50 $\mu\Omega$.

Tabel 5. Hasil pengukuran plat tembaga pertine + plat tembaga pertine

No.	Arus Injeksi (amper)	Hasil Pengukuran Tahanan Kontak ($\mu\Omega$)										Rata-rata ($\mu\Omega$)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	100	16	15	14	16	14	14	14	13	15	15	14.6
2.	200	15	14	14	13	13	14	15	17	15	16	14.6
3.	300	15	16	14	14	13	14	14	16	14	16	14.6
												14.6

Setelah dilakukan pengukuran sebanyak 30 kali dengan masing-masing 10 kali dengan 3 besaran arus injeksi yang berbeda-beda yaitu 100, 200 dan 300 amper. Maka dapat dilihat pada tabel hasil pengukurannya tidak jauh berbeda. Dari hasil pengukuran dan nilai rata-rata hasil pengukuran terlihat bahwa selisihnya juga relatif tidak jauh berbeda.

Terlihat pula bahwa besarnya arus injeksi yang diberikan tidak mempengaruhi nilai tahanan kontak secara signifikan. Perbedaan hasil pengukuran dapat juga dinyatakan dalam bentuk simpangan baku (standard deviation). Besarnya simpangan baku dari hasil pengukuran tahanan kontak plat tembaga pertine dan plat tembaga pertine adalah 1.07 $\mu\Omega$. Hasil pengukuran dan nilai rata-rata dari bahan plat tembaga pertine dan plat tembaga pertine ini memenuhi standar PLN yaitu < 50 $\mu\Omega$.

Tabel 6. Hasil pengukuran plat tembaga + plat tembaga pertine

No.	Arus Injeksi (amper)	Hasil Pengukuran Tahanan Kontak ($\mu\Omega$)										Rata-rata ($\mu\Omega$)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	100	11	12	12	10	13	11	13	13	12	12	11.9
2.	200	11	12	12	12	13	11	11	12	12	14	12
3.	300	12	12	12	13	13	12	11	13	14	12	12.4
												12.1

Setelah dilakukan pengukuran sebanyak 30 kali dengan masing-masing 10 kali dengan 3 besaran arus injeksi yang berbeda-beda yaitu 100, 200 dan 300 amper. Maka dapat dilihat pada tabel hasil pengukurannya tidak jauh berbeda. Dari hasil pengukuran dan nilai rata-rata hasil pengukuran terlihat bahwa selisihnya juga relatif tidak jauh berbeda.

Terlihat pula bahwa besarnya arus injeksi yang diberikan tidak mempengaruhi nilai tahanan kontak secara signifikan. Perbedaan hasil pengukuran dapat juga dinyatakan dalam bentuk simpangan baku (standard deviation). Besarnya simpangan baku dari hasil pengukuran tahanan kontak plat tembaga dan plat tembaga pertine adalah $0.92 \mu\Omega$. Hasil pengukuran dan nilai rata-rata dari bahan plat tembaga dan plat tembaga pertine ini memenuhi standar PLN yaitu $< 50 \mu\Omega$.

Tabel 7. Hasil pengukuran plat tembaga pertine + skun 95 mm²

No.	Arus Injeksi (amper)	Hasil Pengukuran Tahanan Kontak ($\mu\Omega$)										Rata-rata ($\mu\Omega$)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	100	21	22	24	22	24	22	21	23	22	21	22.2
2.	200	22	23	24	23	23	21	23	22	20	21	22.2
3.	300	24	24	24	23	23	21	21	23	23	23	22.9
												22.43

Setelah dilakukan pengukuran sebanyak 30 kali dengan masing-masing 10 kali dengan 3 besaran arus injeksi yang berbeda-beda yaitu 100, 200 dan 300 amper. Maka dapat dilihat pada tabel hasil pengukurannya tidak jauh berbeda. Dari hasil pengukuran dan nilai rata-rata hasil pengukuran terlihat bahwa selisihnya juga relatif tidak jauh berbeda. Terlihat pula bahwa besarnya arus injeksi yang diberikan tidak mempengaruhi nilai tahanan kontak secara signifikan. Perbedaan hasil pengukuran dapat juga dinyatakan dalam bentuk simpangan baku (standard deviation). Besarnya simpangan baku dari hasil pengukuran tahanan kontak plat tembaga pertine dan skun 95 mm² adalah $1.17 \mu\Omega$. Hasil pengukuran dan nilai rata-rata dari bahan plat tembaga pertine dan skun 95 mm² ini memenuhi standar PLN yaitu $< 50 \mu\Omega$.

Tabel 8. Hasil pengukuran plat tembaga pertine + skun 70 mm²

No.	Arus Injeksi (amper)	Hasil Pengukuran Tahanan Kontak ($\mu\Omega$)										Rata-rata ($\mu\Omega$)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	100	30	36	33	34	33	35	35	33	33	35	33.7
2.	200	35	32	34	35	37	35	36	37	34	36	35.1
3.	300	34	33	35	34	36	34	33	35	34	35	34.3
												34.37

Setelah dilakukan pengukuran sebanyak 30 kali dengan masing-masing 10 kali dengan 3 besaran arus injeksi yang berbeda-beda yaitu 100, 200 dan 300 amper. Maka dapat dilihat pada tabel hasil pengukurannya tidak jauh berbeda. Dari hasil pengukuran dan nilai rata-rata hasil pengukuran terlihat bahwa selisihnya juga relatif tidak jauh berbeda.

Terlihat pula bahwa besarnya arus injeksi yang diberikan tidak mempengaruhi nilai tahanan kontak secara signifikan. Perbedaan hasil pengukuran dapat juga dinyatakan dalam bentuk simpangan baku (standard deviation). Besarnya simpangan baku dari hasil pengukuran tahanan kontak plat tembaga pertine dan skun 70 mm² adalah 1.50 $\mu\Omega$. Hasil pengukuran dan nilai rata-rata dari bahan plat tembaga pertine dan skun 70 mm² ini memenuhi standar PLN yaitu < 50 $\mu\Omega$.

Tabel 9. Hasil pengukuran plat tembaga pertine + skun 50 mm²

No.	Arus Injeksi (amper)	Hasil Pengukuran Tahanan Kontak ($\mu\Omega$)										Rata-rata ($\mu\Omega$)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	100	25	25	24	26	24	22	22	24	25	25	24.2
2.	200	25	24	24	23	23	21	22	23	25	26	23.6
3.	300	24	26	24	24	23	21	22	24	24	26	23.8
												23.9

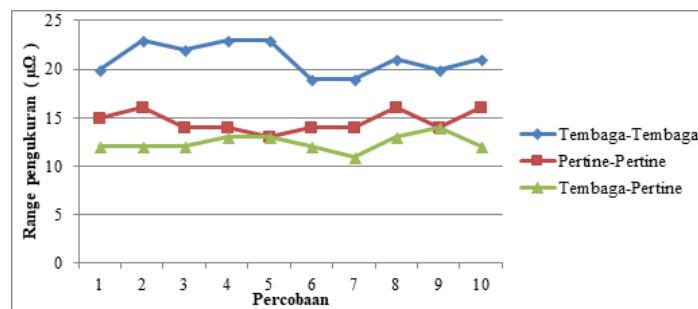
Setelah dilakukan pengukuran sebanyak 30 kali dengan masing-masing 10 kali dengan 3 besaran arus injeksi yang berbeda-beda yaitu 100, 200 dan 300 amper. Maka dapat dilihat pada tabel hasil pengukurannya tidak jauh berbeda. Dari hasil pengukuran dan nilai rata-rata hasil pengukuran terlihat bahwa selisihnya juga relatif tidak jauh berbeda. Terlihat pula bahwa besarnya arus injeksi yang diberikan tidak mempengaruhi nilai tahanan kontak secara signifikan. Perbedaan hasil pengukuran dapat juga dinyatakan dalam bentuk simpangan baku (standard deviation). Besarnya simpangan baku dari hasil pengukuran tahanan kontak plat tembaga pertine dan skun 50 mm² adalah 1.43 $\mu\Omega$. Hasil pengukuran dan nilai rata-rata dari bahan plat tembaga pertine dan skun 50 mm² ini memenuhi standar PLN yaitu < 50 $\mu\Omega$.

B. Analisis

Tabel 10. Analisis hasil pengukuran antara plat tembaga dengan plat tembaga, plat tembaga pertine dengan plat tembaga pertine dan plat tembaga dengan plat tembaga pertine.

No.	Arus Injeksi (amper)	Hasil Pengukuran Tahanan Kontak ($\mu\Omega$)										Rata-rata ($\mu\Omega$)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	300	20	23	22	23	23	19	19	21	20	21	20.8
2.	300	15	16	14	14	13	14	14	16	14	16	14.6
3.	300	12	12	12	13	13	12	11	13	14	12	12.4

Data hasil pengukuran pada tabel 10 di atas dinyatakan dalam gambar seperti berikut:



Gambar 6. Grafik analisis pengukuran antara plat tembaga dengan plat tembaga, plat tembaga pertine dengan plat tembaga pertine dan plat tembaga dengan plat tembaga pertine

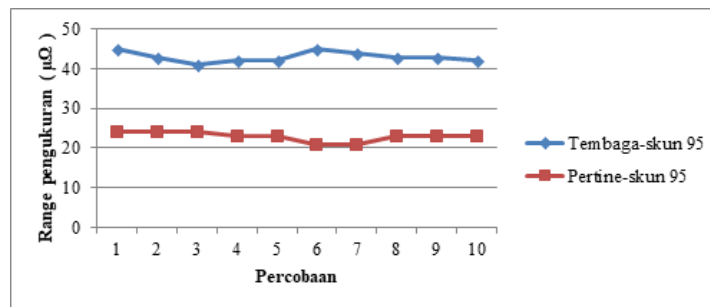
Dari analisis hasil pengukuran antara plat tembaga dengan plat tembaga, plat tembaga pertine dengan plat tembaga pertine dan plat tembaga dengan plat tembaga pertine, dapat dilihat pada tabel dan grafik bahwa hasil pengukuran plat tembaga dengan plat tembaga pertine memiliki tahanan kontak yang lebih rendah dari pada dua pasangan kontak lainnya. Hal ini disebabkan oleh adanya lapisan timah pada salah satu permukaan plat tembaga tersebut, dengan karakteristik timah yang lunak maka pada saat baut yang mengikat (titik sambungan) permukaan plat tembaga dikencangkan maka timah tersebut dapat menutupi celah pada permukaan tembaga yang tidak rata.

Dengan demikian maka cara mengatasi tahanan kontak yang besar yaitu dengan melapisi salah satu permukaan plat tembaga dengan timah. Untuk pengukuran plat tembaga pertine dengan plat tembaga pertine hasil pengukurannya sedikit lebih besar dibanding dengan hasil pengukuran plat tembaga dengan plat tembaga pertine sebab pada saat kedua permukaan plat dilapisi timah maka yang dominan pada permukaan plat tembaga tersebut adalah timah, mengingat bahwa timah memiliki tahanan jenis yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan tembaga.

Tabel 11. Analisis hasil pengukuran antara plat tembaga dengan skun 95 mm² dan plat tembaga pertine dengan skun 95 mm²

No.	Arus Injeksi (amper)	Hasil Pengukuran Tahanan Kontak ($\mu\Omega$)										Rata-rata ($\mu\Omega$)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	300	45	43	41	42	42	45	44	43	43	42	43
2.	300	24	24	24	23	23	21	21	23	23	23	22.9

Visualisasi nilai dalam tabel ditampilkan seperti grafik berikut:



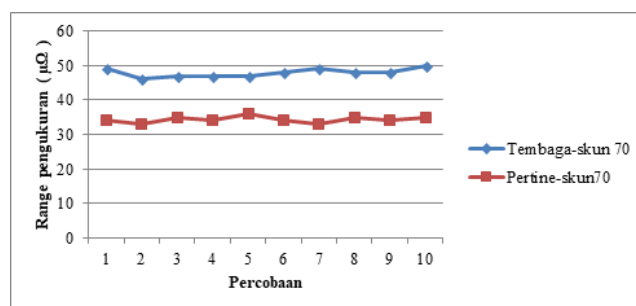
Gambar 7. Grafik analisis hasil pengukuran antara plat tembaga dengan skun 95 mm² dan plat tembaga pertine dengan skun 95 mm²

Dari Analisis hasil pengukuran antara plat tembaga dengan skun 95 mm² dan plat tembaga pertine dengan skun 95 mm², dapat dilihat pada tabel dan grafik bahwa hasil pengukuran plat tembaga pertine dengan skun 95 mm² memiliki tahanan kontak yang lebih rendah dari pada plat tembaga dengan skun 95 mm². Hal ini disebabkan oleh adanya lapisan timah pada permukaan plat tembaga tersebut, dengan karakteristik timah yang lunak maka pada saat baut yang mengikat (titik sambungan) permukaan plat tembaga dengan skun dikencangkan maka timah tersebut dapat menutupi celah pada permukaan tembaga yang tidak rata. Dengan demikian maka cara mengatasi tahanan kontak yang besar yaitu dengan melapisi permukaan plat tembaga dengan timah.

Tabel 12. Analisis hasil pengukuran antara plat tembaga dengan skun 70 mm² dan plat tembaga pertine dengan skun 70 mm²

No.	Arus Injeksi (amper)	Hasil Pengukuran Tahanan Kontak (μΩ)										Rata-rata (μΩ)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	300	49	46	47	47	47	48	49	48	48	50	47.9
2.	300	34	33	35	34	36	34	33	35	34	35	34.3

Visualisasi nilai dalam tabel ditampilkan seperti grafik berikut:



Gambar 8. Grafik analisis hasil pengukuran antara plat tembaga dengan skun 70 mm² dan plat tembaga pertine dengan skun 70 mm²

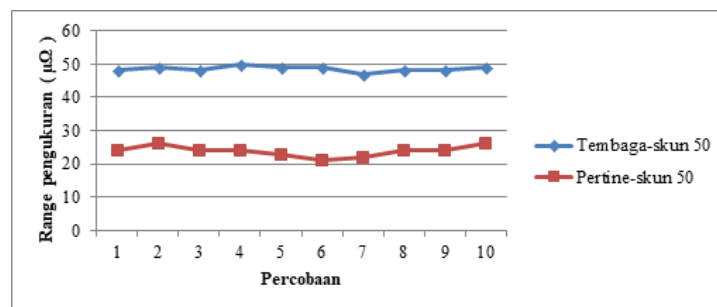
Dari Analisis hasil pengukuran antara plat tembaga dengan skun 70 mm² dan plat tembaga pertine dengan skun 70 mm², dapat dilihat pada tabel dan grafik bahwa hasil pengukuran plat tembaga pertine dengan skun 70 mm² memiliki tahanan kontak yang lebih rendah dari pada plat tembaga dengan skun 70 mm². Hal ini disebabkan oleh adanya lapisan timah pada permukaan plat tembaga tersebut, dengan karakteristik timah yang lunak maka pada saat baut yang mengikat (titik sambungan) permukaan plat tembaga dengan skun dikencangkan maka timah tersebut

dapat menutupi celah pada permukaan tembaga yang tidak rata. Dengan demikian maka cara mengatasi tahanan kontak yang besar yaitu dengan melapisi permukaan plat tembaga dengan timah.

Tabel 13. Analisis hasil pengukuran antara plat tembaga dengan skun 50 mm² dan plat tembaga pertine dengan skun 50 mm²

No.	Arus Injeksi (amper)	Hasil Pengukuran Tahanan Kontak ($\mu\Omega$)										Rata-rata ($\mu\Omega$)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	300	48	49	48	50	49	49	47	48	48	49	48.5
2.	300	24	26	24	24	23	21	22	24	24	26	23.8

Visualisai nilai dalam tabel ditampilkan seperti grafik berikut:



Gambar 9. Grafik analisis hasil pengukuran antara plat tembaga dengan skun 50 mm² dan plat tembaga pertine dengan skun 50 mm²

Dari Analisis hasil pengukuran antara plat tembaga dengan skun 50 mm² dan plat tembaga pertine dengan skun 50 mm², dapat dilihat pada tabel dan grafik bahwa hasil pengukuran plat tembaga pertine dengan skun 50 mm² memiliki tahanan kontak yang lebih rendah dari pada plat tembaga dengan skun 50 mm². Hal ini disebabkan oleh adanya lapisan timah pada permukaan plat tembaga tersebut, dengan karakteristik timah yang lunak maka pada saat baut yang mengikat (titik sambungan) permukaan plat tembaga dengan skun dikencangkan maka timah tersebut dapat menutupi celah pada permukaan tembaga yang tidak rata. Dengan demikian maka cara mengatasi tahanan kontak yang besar yaitu dengan melapisi permukaan plat tembaga dengan timah.

3. KESIMPULAN

Setelah penelitian selesai dilakukan, maka penulis dapat menyimpulkan hasil penelitian sebagai berikut:

- Dari 9 contoh permukaan kontak yang diukur diperoleh bahwa:
 - Pengukuran antara plat tembaga dengan plat tembaga, plat tembaga dengan plat tembaga dipertine dan plat tembaga dipertine dengan plat tembaga dipertine ternyata hasil pengukuran plat tembaga dipertine dengan plat tembaga lebih rendah dibandingkan dengan dua pasangan permukaan kontak lainnya.
 - Pengukuran plat tembaga dengan skun 95 mm² dan plat tembaga dipertine dengan skun 95 mm² ternyata hasil pengukuran plat tembaga dipertine dengan skun 95 mm² masih lebih rendah.
 - Pengukuran plat tembaga dengan skun 70 mm² dan plat tembaga dipertine dengan skun 70 mm² ternyata hasil pengukuran plat tembaga dipertine dengan skun 70 mm² masih lebih rendah.
 - Pengukuran plat tembaga dengan skun 50 mm² dan plat tembaga dipertine dengan skun 50 mm² ternyata hasil pengukuran plat tembaga dipertine dengan skun 50 mm² masih lebih rendah.
- Semua hasil pengukuran yang diperoleh dari beberapa jenis permukaan kontak yang diukur diperoleh bahwa semua memenuhi syarat sebagaimana yang ditetapkan oleh PLN yaitu $\leq 50 \mu\Omega$.
- Secara umum hasil penelitian menunjukkan bahwa salah satu permukaan plat tembaga yang dilapisi dengan timah putih (plat tembaga dan skun) memberikan hasil pengukuran yang lebih rendah dibandingkan dengan permukaan yang sama sekali tidak dilapisi timah putih. Hal ini menunjukkan bahwa salah satu cara untuk mengatasi tahanan kontak pada penghantar plat tembaga adalah melapisi salah satu permukaannya dengan timah putih (pertine).

PUSTAKA

1. Liu, Min. 1998. *A New Method for Measuring Contact Resistance*. Beijing Orient Institute of Measurement & Test Chinese Academy of Space Technology. Beijing.
2. Tanpa Nama. 1996. *The Preventability Test Procedure for Electric Power Facility*. Standard of Electric Power Industry of China.
3. Tanpa Nama. 1994. *Measuring Method for Contact Resistance of Precious Metal Electrical Contact Materials*. China National Standard.
4. Tupta, Mary Anne. 1995. *Hone Your Contact-resistance Measurements*. Quality Magazine.
5. Tanpa Nama. 2000. *Contact Resistance Test Procedure for Electrical Connector*. EIA Standard.
6. Amirudin. 2013. *Bahan Konduktor* (online), (<http://amirrasabou.blogspot.com/2013/04/bahan-konduktor.html>, diakses 26 Januari 2015).
7. Tanpa Nama. 2012. *Materi / Bahan Teknik Listrik | Ilmu Bahan Listrik* (online), (<http://elektro-unram2011.blogspot.com/2012/07/materi-bahan-teknik-listrik-ilmu-bahan.html>, diakses 27 Januari 2015).

SISTEM ANTRIAN KANTOR PAJAK DENGAN MODEL SIMULASI (Studi Kasus Jalan Kapten A. Rivai)

Achmad Alfian

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains & Teknologi
Universitas Katolik Misi Charitas
Jl. Bangau No.60, Palembang 30113

E-mail: a_alfian@ukmc.ac.id, alfian60@gmail.com

ABSTRAK

Model simulasi merupakan salah alat bantu untuk menyelesaikan masalah sistem antrian. Banyak persoalan sistem antrian dapat dipecahkan dengan model simulasi. Salah satu kelebihan simulasi adalah digunakan kita tidak dapat mempelajari atau menguji sistem nyata (real-system tests), karena dapat merusak/mengganggu sistem, beresiko, dan mahal. Dengan model simulasi dapat membantu sistem antrian Kantor Pajak di Jalan Kapten A. Rivai. Adapun rata-rata lama customer menunggu dari masuk sampai selesai sebagai berikut: untuk counter NPWP (42,12 menit), counter-1 (45,98 menit), counter-2 (42,22 menit), counter-3 (41,35 menit) dan counter-4 (55,78 menit).

Kata Kunci: Model Simulasi, Sistem, Antrian

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pajak merupakan salah satu kewajiban yang harus dipenuhi oleh setiap golongan dalam suatu masyarakat. Hal ini dikarenakan semua fasilitas yang ada dalam suatu Negara berasal dari pajak. Maka dari itu, setiap golongan masyarakat harus membayar pajak demi terciptanya kenyamanan didalam suatu Negara. Untuk melakukan pembayaran pajak, pemerintah mengandalkan suatu lembaga pajak Indonesia untuk melakukan proses transaksi ini. Dalam melakukan transaksi pembayaran pajak ini, lembaga pajak Indonesia membuka suatu kantor pelayanan pajak. Kantor Pajak di Jalan Kapten A. Rivai ini merupakan suatu tempat yang digunakan untuk memberikan informasi pelayanan pajak berupa NPWP (Nomor Pokok Wajib Pajak) dan pembayaran SSP (Surat Setoran Pajak).

Didalam melakukan proses transaksi ini, masyarakat haruslah mengantri. Hal ini dikarenakan setiap golongan masyarakat memiliki kewajiban yang sama yaitu, wajib pajak. Seringkali banyak masyarakat mengeluh, karena lamanya antrian pelayanan disana. Lamanya pelayanan antrian ini bisa disebabkan oleh lamanya suatu pelayanan, banyaknya orang yang akan melakukan pelayanan, ataupun fasilitas pelayanan yang ada kurang. Dengan menggunakan model simulasi ini, kita dapat mengetahui sistem antrian yang ada didalam suatu pelayanan tersebut. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk membuat model simulasi antrian dengan menggunakan Software Promodel yang dapat mempresentasikan sistem antrian yang terjadi.

1.2 Tinjauan Pustaka

1.2.1 Konsep dasar simulasi dan istilah

Pemodelan dan simulasi adalah salah satu alat yang sering dipakai dalam mempelajari atau menganalisis operasi dari suatu sistem atau proses. Komponen-komponen dalam simulasi dijelaskan sebagai berikut (Simatupang, 1995).

- 1) Sistem adalah kumpulan dari objek atau entitas yang terintegrasi dan saling beraksi, juga berinteraksi satu sama lain untuk mencapai tujuan akhir tertentu secara logis.
- 2) *State* (keadaan sistem) adalah sekumpulan variabel untuk menyatakan keadaan sistem pada waktu tertentu, relatif terhadap objek yang dipelajari.
- 3) *Event* adalah suatu kejadian yang dapat mengubah keadaan dari suatu sistem.
- 4) Model adalah suatu penyajian abstrak dari suatu sistem atau objek-objek dengan mengambil bentuk matematika atau biasanya mengandung hubungan-hubungan logis yang menjelaskan sistem melalui keadaan, entitas, dan parameter.
- 5) Simulasi adalah teknik dengan menggunakan komputer untuk meniru cara kerja (operasi) dari berbagai fasilitas dunia nyata.

1.2.2 Metode untuk Mengevaluasi Kapasitas

Ada berbagai konsep yang digunakan untuk mengevaluasi rancangan kapasitas yaitu dengan analisis nilai sekarang (present value analysis), model perencanaan total (agregat planning model), analisis titik impas (break event analysis)

Disamping itu ada dua model yang berguna untuk meneliti pemakaian kapasitas dalam jangka waktu pendek yaitu:

1. Model linier programming
2. Model simulasi dengan komputer

Simulasi dengan komputer dalam pengaturan jadwal yang tepat dari fasilitas produksi dapat memberikan hasil kapasitas yang tepat. Hal ini dapat dicontohkan pada klinik kesehatan yang kadang-kadang mengalami utilitas dengan tingkat kerumitan tinggi, saat-saat tertentu paramedik menganggur atau paramedik terpaksa menerima pasien walaupun sudah satu jam lewat waktu tutup. Untuk itu perlu diadakan peraian pada penggunaan kapasitas melalui analisis pola kedatangan pasien. Dengan simulasi dan analisis bisa mengevaluasi hal-hal seperti lamanya waktu pelayanan, waktu menunggu, panjang antrian, utilisasi dari resources, service level (presentase dari pelanggan yang bisa dilayani tanpa menunggu) dan rata-rata pelanggan yang tidak bisa dilayani.

Contoh program simulasi yang digunakan untuk menganalisis sebuah sistem: promodel, medmodel, proses model, arena.

1.2.3 Promodel

Promodel adalah sebuah software simulasi berbasis windows yang digunakan untuk mensimulasikan dan menganalisis suatu sistem (Harrel, Charles Biman K Ghost, Royce O. Bowden 2003). Promodel memberikan kombinasi yang baik dalam pemakaian, fleksibilitas, dan memodelkan suatu sistem nyata agar tampak lebih realistis.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam memodelkan suatu sistem nyata, yaitu bagaimana sistem beroperasi, aliran bahan, logika operasi kerja, resources dan lintasan kerjanya.

Dalam promodel, selama simulasi berlangsung dapat diamati animasi dari kegiatan yang sedang berlangsung dan hasilnya akan ditampilkan dalam bentuk tabel maupun grafik yang memudahkan untuk penganalisaan. Untuk membangun model suatu sistem yang diinginkan, promodel menyediakan beberapa elemen-elemen yang tepat disesuaikan untuk membuat model sistem produksi. Beberapa elemen-elemen dasar yang ada seperti location, entities, processing, arrival, resources, path network dan menjalankan simulasi.

Untuk mendapatkan suatu sistem kerja yang baik perlu dilakukan perbaikan sistem kerja, perbaikan ini dapat berupa perancangan atau design terhadap suatu sistem kerja yang sudah ada. Perusahaan yang mempunyai sistem kerja yang baik dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitasnya.

Menurut Sitalaksana, Iftikar Z, et.al (2006) sistem kerja terdiri atas Pekerja atau manusia, bahan, mesin/peralatan dan lingkungan kerja. Sedangkan menurut Wignyosoebroto, Sritomo (1995) yang dimaksudkan dengan sistem kerja adalah suatu sistem dimana komponen-komponen kerja seperti manusia (operator), mesin atau fasilitas kerja lainnya, material atau fasilitas kerja lainnya, material atau bahan serta lingkungan kerja fisik akan berintegrasi.

1.2.4 Metode Statistik dalam Model Simulasi

Analisis statistik yang digunakan dalam proses membangun model simulasi mencakup

1) Uji Independensi

Uji independensi menentukan apakah data yang dikumpulkan berpengaruh terhadap data observasi yang lain atau sampel yang mewakili sebuah populasi telah diambil secara acak atau belum. Alatnya antara lain *scatter plot*, *auto correlation* dan *runs test*.

2) Uji homogenitas/keseragaman

Pengujian homogenitas bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat kesamaan karakteristik dari beberapa data pengamatan yang dimiliki juga untuk mengetahui apakah data berasal dari populasi yang sama. Ada dua uji yang digunakan yaitu uji *Kolmogorov Smirnov* dan uji *Chi square*. Pengujian homogenitas untuk lebih dari dua pengamatan menggunakan *Kruskall Wallis*.

3) Pencocokan Distribusi/*random variates*

Menentukan apakah data observasi mengikuti salah satu distribusi teoritis kontinyu seperti distribusi *Uniform*/himpunan bilangan observasi sesuai dengan distribusi seragam, normal, *triangular*, *beta*, *exponential* dan sebagainya. Ada banyak metode dan alat untuk uji kecocokan distribusi salah satunya menggunakan program *stat::fit*.

1.3 Metodologi Penelitian

Adapun beberapa langkah yang dilakukan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1) Studi Lapangan

Lokasi penelitian dilakukan di Kantor Pajak Jl. Kapten A. Rivai Palembang.

2) Identifikasi Masalah

Permasalahan yang diidentifikasi dalam kegiatan penelitian ini adalah membuat model simulasi yang dapat mempresentasikan sistem antrian yang terjadi.

3) Merumuskan Tujuan Penelitian

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah mengetahui sistem antrian yang ada dalam kantor pelayanan pajak

dan bagaimana membuat model simulasi yang dapat mempresentasikan sistem antrian yang terjadi.

4) Studi Pustaka

Studi pustaka membantu penulis dalam menyelesaikan permasalahan dengan mengumpulkan berbagai teori dan konsep dari buku dan penelitian-penelitian yang sudah ada untuk dijadikan landasan berpikir.

5) Pengumpulan Data

Melakukan pengumpulan data jumlah pelayan, jam kerja, waktu kedatangan pelanggan, jumlah pelanggan yang diproses melihat langsung objek penelitian di tempat kerja dan lingkungan sekitar.

6) Membangun Model

Setelah mendapatkan informasi dan data-data maka dibangun model. Model yang telah dibangun akan memberikan abstrak dengan elemen struktural dan operasi antar elemen yang membentuk sistem.

7) Menentukan Distribusi

Dalam tahap ini dilakukan penginputan data untuk mendapatkan pola distribusinya.

8) Menjalankan Program Simulasi

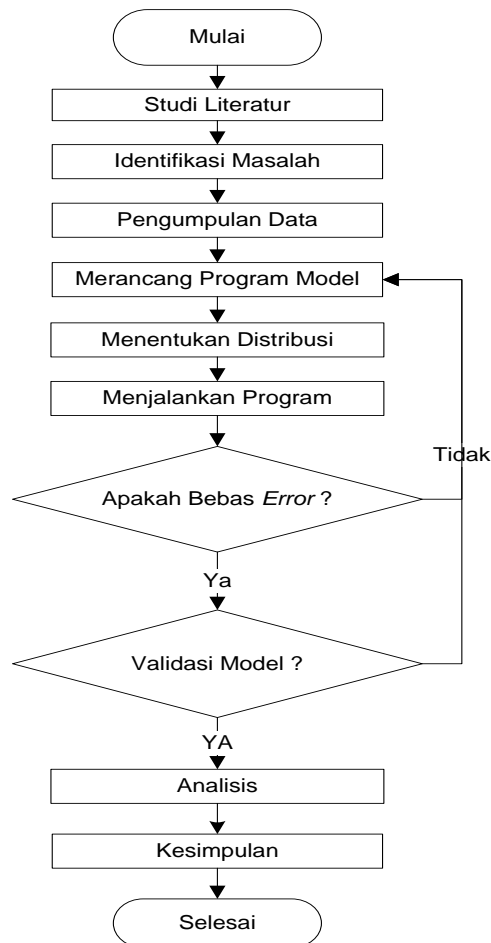
Dalam tahap ini dilakukan serangkaian pengolahan data menggunakan aplikasi promodel.

9) Analisis

Data yang telah dikumpulkan dan diolah kemudian dianalisis untuk mengetahui jumlah pelanggan, lama pelayanan dan banyak antrian.

10) Kesimpulan

Isinya adalah jawaban dari apa yang menjadi permasalahan yang telah dirumuskan dalam rumusan masalah.



Gambar 1. Flowchart Metodologi Penelitian

2. PEMBAHASAN

2.1 Layout Tempat

Berikut ini adalah gambaran umum untuk kantor pelayanan yang terdiri dari meja, operator, kursi tunggu, mesin antri, dan sebagainya. Gambaran nyata dari kantor pelayanan ini dapat dilihat pada gambar 2 dan gambar 3.

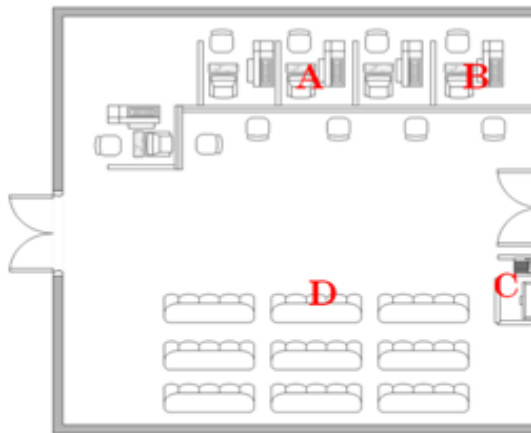


Gambar 2. Kondisi Tempat Pelayanan



Gambar 3. Kondisi Tempat Mesin Antrian

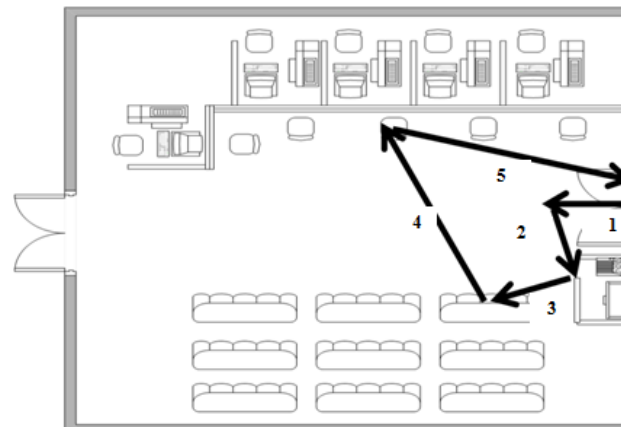
Untuk layout dan pola dari kantor pelayanan ini dapat dilihat pada gambar 4 dan 5.



Keterangan

- A. Penyetoran SSP
- B. Pelayanan NPWP
- C. Mesin Antrian
- D. Kursi Tunggu

Gambar 4. Layout Kantor Pelayanan



Gambar 5. Pola Yang Terjadi

Berikut ini merupakan penjelasan mengenai angka-angka yang ada dalam gambar 5.

1. Pewajib pajak masuk kedalam kantor pelayanan.
2. Pewajib pajak menuju mesin antrian untuk mengambil no antrian.
3. Setelah mengambil no antrian, pewajib pajak duduk di kursi tunggu untuk menunggu no antriannya dipanggil.
4. Pewajib pajak menuju ke *counter* pelayanan pajak (SSP dan NPWP).
5. Pewajib pajak meninggalkan kantor pelayanan.

Dalam melakukan proses simulasi ini, maka dilakukan pengamatan akan waktu kedatangan, waktu pelayanan, dan waktu selesai pelayanan. Untuk data tersebut, dapat dilihat pada tabel 1 untuk waktu pelayanan SSP dan tabel 2 untuk waktu pelayanan NPWP.

Tabel 1. Waktu Pelayanan SSP

Pelanggan	Waktu Kedatangan	Waktu Antar Kedatangan	Waktu Pelayanan	Lama Pelayanan	Waktu Selesai Pelayanan	Counter 1	Counter 2	Counter 3	Counter 4
1	8:10	-	8:10	14	8:24				
2	8:10	0	8:10	12	8:22				
3	8:12	2	8:12	8	8:20				
4	8:13	1	8:13	9	8:22				
5	8:15	2	8:20	7	8:27				
6	8:20	5	8:22	10	8:32				
7	8:21	1	8:22	12	8:34				
8	8:22	1	8:24	5	8:29				
9	8:22	0	8:27	8	8:35				
10	8:30	8	8:30	6	8:36				
11	8:33	3	8:32	10	8:42				
12	8:34	1	8:34	8	8:42				
13	8:34	0	8:35	9	8:44				
14	8:36	2	8:36	5	8:41				
15	8:37	1	8:41	9	8:50				
16	8:41	4	8:42	13	8:55				
17	8:41	0	8:42	9	8:51				
18	8:49	8	8:49	13	9:02				
19	8:52	3	8:52	5	8:57				
20	8:52	0	8:52	7	8:59				

Lanjutan Tabel 1

Pelanggan	Waktu Kedatangan	Waktu Antar Kedatangan	Waktu Pelayanan	Lama Pelayanan	Waktu Selesai Pelayanan	Counter 1	Counter 2	Counter 3	Counter 4
21	8:55	3	8:55	10	9:05				
22	8:58	3	8:58	9	9:07				
23	9:01	3	9:01	10	9:11				
24	9:04	3	9:04	8	9:12				
25	9:07	3	9:07	12	9:19				
26	9:10	3	9:10	8	9:18				
27	9:12	2	9:12	7	9:19				
28	9:15	3	9:15	12	9:27				
29	9:15	0	9:18	9	9:27				
30	9:19	4	9:19	11	9:30				
31	9:20	1	9:20	7	9:27				
32	9:20	0	9:27	15	9:42				
33	9:22	2	9:27	7	9:34				
34	9:24	2	9:27	6	9:33				
35	9:28	4	9:30	10	9:40				
36	9:28	0	9:33	13	9:46				
37	9:32	4	9:34	12	9:46				
38	9:32	0	9:40	8	9:48				
39	9:35	3	9:42	6	9:48				
40	9:40	5	9:46	11	9:57				

Lanjutan Tabel 1

Pelanggan	Waktu Kedatangan	Waktu Antar Kedatangan	Waktu Pelayanan	Lama Pelayanan	Waktu Selesai Pelayanan	Counter 1	Counter 2	Counter 3	Counter 4
41	9:42	2	9:46	8	9:54				
42	9:50	8	9:50	7	9:57				
43	9:57	7	9:57	12	10:09				
44	10:05	8	10:05	7	10:12				
45	10:12	7	10:12	10	10:22				
46	10:28	16	10:28	11	10:39				
47	10:39	11	10:39	6	10:45				
48	10:43	4	10:43	8	10:51				
49	10:50	7	10:50	5	10:55				
50	10:55	5	10:55	12	11:07				
51	11:03	8	11:03	13	11:16				
52	11:14	11	11:14	9	11:23				
53	11:28	14	11:28	8	11:36				
54	11:41	13	11:41	9	11:50				
55	11:58	17	11:58	10	12:08				

Tabel 2. Waktu Pelayanan NPWP

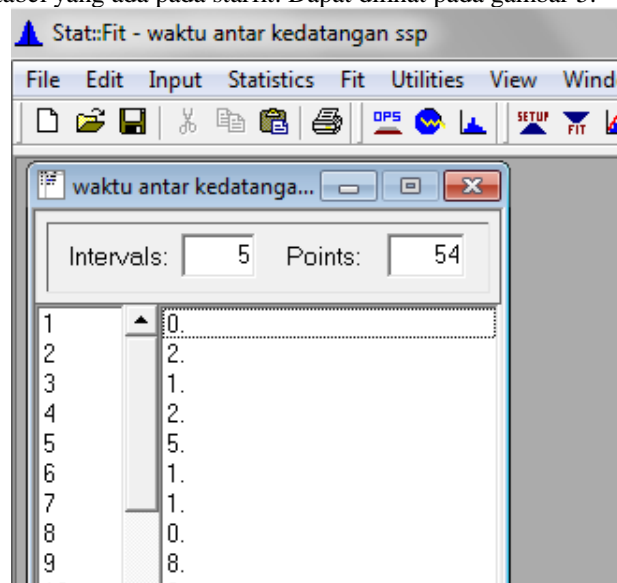
No	Waktu Kedatangan	Waktu Antar Kedatangan	Waktu Pelayanan	Lama Pelayanan (menit)	Waktu Selesai Pelayanan
1	8:21	-	8:21	8	8:29
2	8:40	19	8:40	10	8:50
3	9:15	35	9:15	11	9:26
4	9:20	5	9:20	13	9:33
5	9:35	15	9:35	9	9:44
6	9:52	17	9:50	5	9:55
7	10:05	13	10:05	6	10:11
8	10:29	14	10:29	10	10:39
9	10:43	14	10:43	7	10:50
10	10:50	7	10:50	9	10:59
11	11:04	14	11:04	8	11:12
12	11:21	17	11:21	12	11:32
13	11:38	17	11:38	7	11:45
14	11:50	12	11:50	9	11:59

2.2 Model Simulasi Sistem

Berdasarkan pengumpulan data yang telah dikumpulkan, maka dibuatlah simulasi dengan menggunakan program promodel. Tetapi terlebih dahulu dilakukan perhitungan distribusi untuk waktu antar kedatangan pada SSP, waktu antar kedatangan pada NPWP, waktu pelayanan counter 1, waktu pelayanan counter 2, waktu pelayanan counter 3, waktu pelayanan counter 4, dan waktu pelayanan counter NPWP.

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan program stat-fit yang ada dalam promodel. Untuk langkah-langkah starfit dapat dilihat dibawah ini.

1. Buka promodel dan pilih stat-fit.
2. Masukkan angka pada tabel yang ada pada starfit. Dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 6. Input Data Pada Stat-Fit

3. Pilih fit, lalu pilih setup masukkan distribusi waktu (normal, eksponensial, dan uniform).
4. Pilih fit lagi lalu pilih goodness of fit.

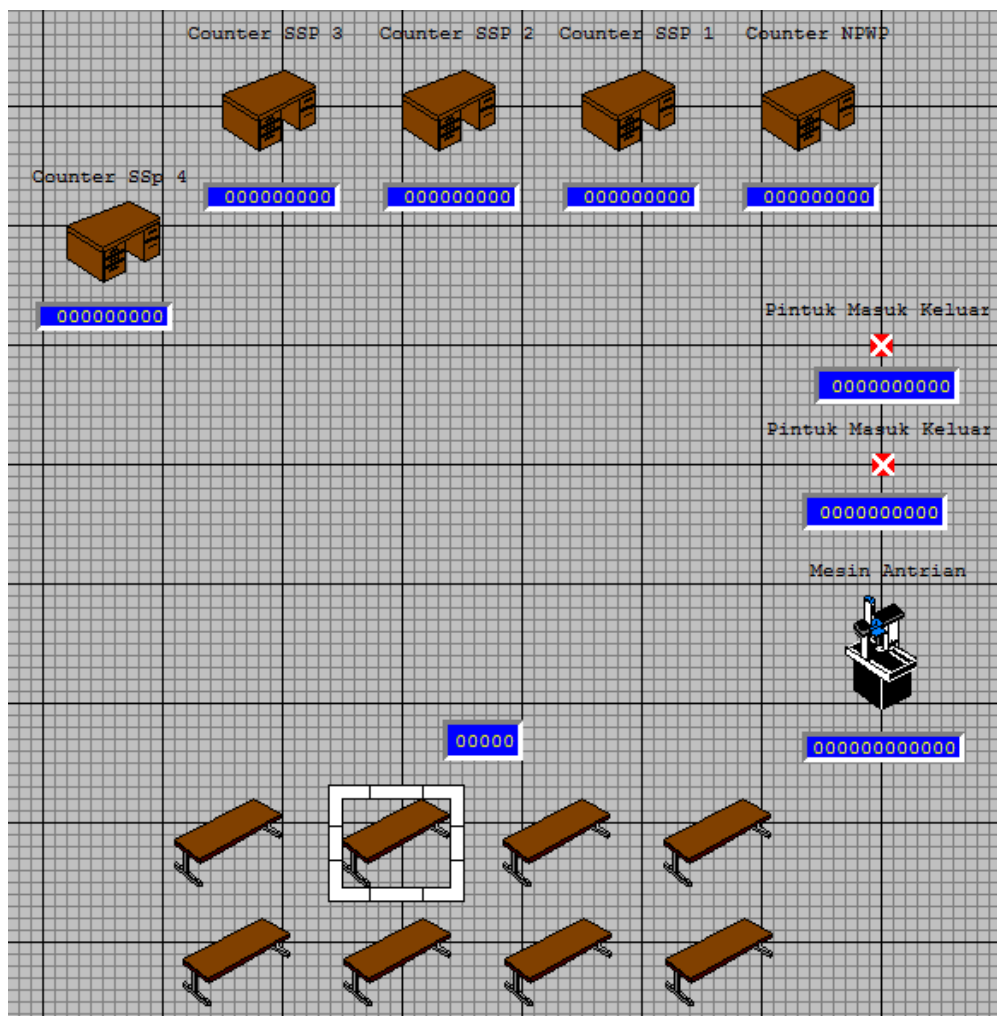
5. Pada hasil goodness of fit, lihat kolmogorov smirnov. Bila angka pada kolmogorov smirnov paling kecil, itu distribusi yang dipilih.

Berdasarkan hasil starfit yang telah dilakukan, maka didapatkan distribusi untuk semua waktu yang dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Distribusi Waktu

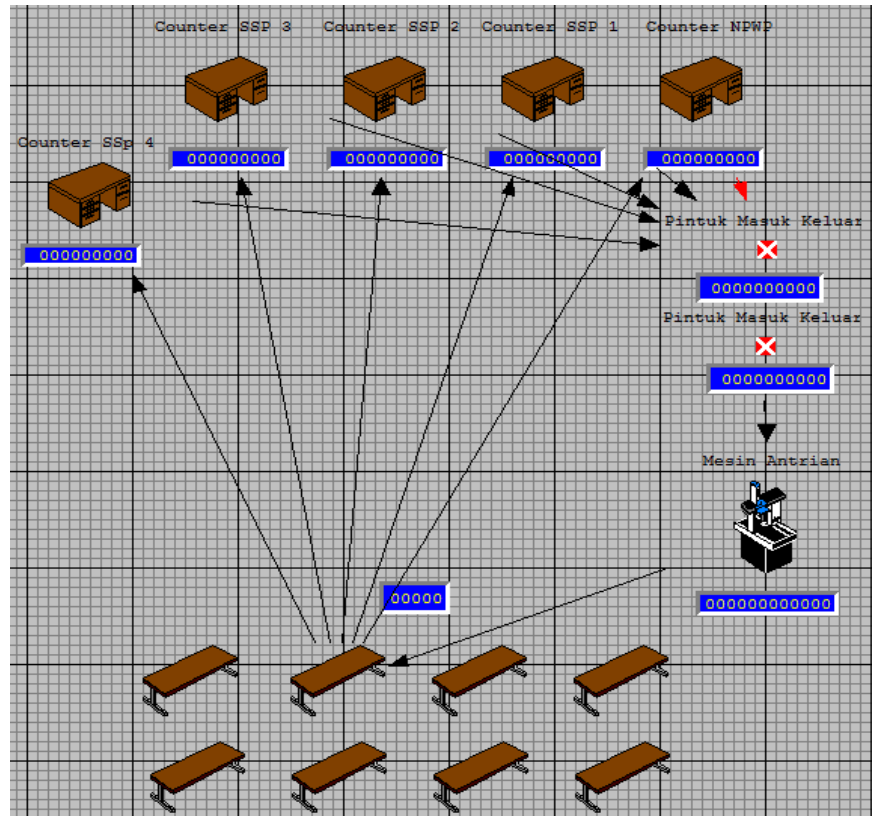
No	Waktu	Distribusi
1	Antar Kedatangan SSP	Exponential
2	Antar Kedatangan NPWP	Normal
3	Pelayanan Counter1	Normal
4	Pelayanan Counter2	Normal
5	Pelayanan Counter3	Exponential
6	Pelayanan Counter4	Normal
7	Pelayanan NPWP	Normal

Untuk layout yang dibuat dengan promodel, dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Layout Pada Promodel

Didalam simulasi yang dilakukan, pada arrival diisi distribusi yang sesuai dengan waktu antar kedatangan SSP dan NPWP. Dan untuk prosesnya, distribusi waktu pelayanan yang digunakan. Gambar untuk rute proses simulasi yang terjadi dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Rute Proses

2.3 Output Model

Berikut adalah output yang dihasilkan dengan menjalankan simulasi diatas dengan waktu simulasi 4 jam.

General Report (Normal Run - Rep. 1)									
contoh1.MOD (Normal Run - Rep. 1)									
Name	Scheduled Time (HR)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization	
Pintuk Masuk Keluar.1	4.00	10.00	70.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.01	
Pintuk Masuk Keluar.2	4.00	10.00	66.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	
Pintuk Masuk Keluar	8.00	20.00	136.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	
Mesin Antrian	4.00	1.00	70.00	0.10	0.03	1.00	0.00	2.92	
Kursi tunggu.1	4.00	1.00	68.00	0.18	0.05	1.00	0.00	4.98	
Kursi tunggu.2	4.00	1.00	1.00	3.53	0.01	1.00	0.00	1.47	
Kursi tunggu.3	4.00	1.00	1.00	2.25	0.01	1.00	0.00	0.94	
Kursi tunggu.4	4.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Kursi tunggu.5	4.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Kursi tunggu.6	4.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Kursi tunggu.7	4.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Kursi tunggu.8	4.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Kursi tunggu	32.00	8.00	70.00	0.25	0.01	3.00	0.00	0.92	
Counter NPWP	4.00	1.00	14.00	9.92	0.58	1.00	0.00	57.88	
Counter SSP 1	4.00	1.00	18.00	7.20	0.54	1.00	1.00	54.02	
Counter SSP 2	4.00	1.00	14.00	9.91	0.58	1.00	1.00	57.78	
Counter SSP 3	4.00	1.00	12.00	11.73	0.59	1.00	1.00	58.65	
Counter SSP 4	4.00	1.00	12.00	8.84	0.44	1.00	1.00	44.22	

Gambar 8. Output Location

Dari gambar 8. terlihat rata-rata lama antrian untuk counter NPWP (9,92 menit), counter-1 (7,20 menit), counter-2 (9,91 menit), counter-3 (11,73 menit) dan counter-4 (8,84).

General Report (Normal Run - Rep. 1)						
General	Locations	Location States Multi	Location States Single	Failed Arrivals	Entity Activity	
contoh1.MOD (Normal Run - Rep. 1)						
Name	Scheduled Time (HR)	% Empty	% Part Occupied	% Full	% Down	
Pintuk Masuk Keluar.1	4.00	99.88	0.12	0.00	0.00	
Pintuk Masuk Keluar.2	4.00	100.00	0.00	0.00	0.00	
Pintuk Masuk Keluar	8.00	99.94	0.06	0.00	0.00	

Gambar 9. Output Location States Multi

General Report (Normal Run - Rep. 1)								
General	Locations	Location States Multi	Location States Single	Failed Arrivals	Entity Activity	Entity States		
contoh1.MOD (Normal Run - Rep. 1)								
Name	Scheduled Time (HR)	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down	
Mesin Antrian	4.00	2.92	0.00	97.08	0.00	0.00	0.00	
Kursi tunggu.1	4.00	0.00	0.00	95.02	0.00	4.98	0.00	
Kursi tunggu.2	4.00	0.00	0.00	98.53	0.00	1.47	0.00	
Kursi tunggu.3	4.00	0.00	0.00	99.06	0.00	0.94	0.00	
Kursi tunggu.4	4.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	
Kursi tunggu.5	4.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	
Kursi tunggu.6	4.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	
Kursi tunggu.7	4.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	
Kursi tunggu.8	4.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	
Kursi tunggu	32.00	0.00	0.00	99.08	0.00	0.92	0.00	
Counter NPWP	4.00	57.88	0.00	42.12	0.00	0.00	0.00	
Counter SSP 1	4.00	54.02	0.00	45.98	0.00	0.00	0.00	
Counter SSP 2	4.00	57.78	0.00	42.22	0.00	0.00	0.00	
Counter SSP 3	4.00	58.65	0.00	41.35	0.00	0.00	0.00	
Counter Ssp 4	4.00	44.22	0.00	55.78	0.00	0.00	0.00	

Gambar 10. Output Location States Single

Dari gambar 10. terlihat rata-rata lama customer menunggu dari masuk sampai selesai sebagai berikut: untuk counter NPWP (42,12 menit), counter-1 (45,98 menit), counter-2 (42,22 menit), counter-3 (41,35 menit) dan counter-4 (55,78 menit).

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dijalani, maka rekapitulasi dari hasil simulasi ini dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Output Simulasi

No	Tempat	Jumlah Entity
1	Pintu masuk	70
2	Pintu keluar	66
3	Counter 1	14
4	Counter 2	18
5	Counter 3	14
6	Counter 4	12
7	Counter NPWP	12

2.4 Validasi

Berdasarkan hasil yang di dapat dari simulasi, hasil tersebut dibandingkan dengan data yang telah dikumpulkan. Bila hasilnya tidak berbeda jauh maka hasil yang didapatkan dari simulasi valid. Perbandingan hasil simulasi dengan data yang dikumpulkan dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Sistem Nyata Vs Hasil Simulasi

No	Tempat	Jumlah Entity Data	Jumlah Entity Simulasi	Valid/Tidak
1	Pintu masuk	69	70	Valid
2	Pintu keluar	69	66	Valid
3	Counter 1	15	14	Valid
4	Counter 2	13	18	Valid
5	Counter 3	13	14	Valid
6	Counter 4	14	12	Valid
7	Counter NPWP	14	12	Valid

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengolahan data dengan model simulasi, rata-rata lama customer menunggu dari masuk sampai selesai sebagai berikut: untuk counter NPWP (42,12 menit), counter-1 (45,98 menit), counter-2 (42,22 menit), counter-3 (41,35 menit) dan counter-4 (55,78 menit).

Sedangkan output model simulasi yang dibangun hasilnya hampir sama dengan output sistem nyata, sehingga dapat dikatakan model simulasinya valid. Model ini juga dapat menjadi acuan untuk bagi sistem antrian di cabang lainnya.

PUSTAKA

- Banks, J., Carson, J.S., 1984. *Discrete-Event System Simulation*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Gordon, G. 1989. *System Simulation*, IBM Corporation, New Delhi.
- Harrel C., Ghost K.B, Bowden R. 2003. *Simulation Using Pro Model*. New York: Mcgraw-Hill.
- Hoover, S.V., Perry, R.F.1990. *Simulation : A Problem- Solving Approach*, Addison-Wesley Company, Inc., Unites States of America.
- Law A. And Kelton W.D. 1991. *Simulation Modeling And Analysis*, New York: Mcgraw-Hill.
- Setiawan, S. 1991. *Simulasi : Teknik Pemograman dan Metode Analisis*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Shannon, R.E. 1975. *System Simulation : The art and Science*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Simatupang, T.M. 1995. *Pemodelan Sistem.*, Nindita, Klaten.
- Sritomo, W. 1995. *Ergonomi Dan Perancangan Sistem Kerja*, Guna Widya, Surabaya.
- Suryani, E. 2006. *Pemodelan & Simulasi*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Sutalaksana I.Z, Anggawisastra R, Tjakraatmadja J.H. 2006. *Teknik Perancangan Sistem Kerja*". Bandung: Institut Teknologi Bandung.

ANALISIS KECACATAN PRODUK WALL TILE PADA PT. MULIA KERAMIK INDAHRAYA DENGAN MENGGUNAKAN METODE STATISTICAL PROCESS CONTROL (SPC) DAN FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) SEBAGAI UPAYA PENGENDALIAN KUALITAS

Chendrasari Wahyu Oktavia ¹, Riana Magdalena ², Jessica Ardelia Gotama ³

¹ Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
Jalan Raya Cisauk Lapan No.10, Sampora, Cisauk

² Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
Jalan Raya Cisauk Lapan No.10, Sampora, Cisauk

³ Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
Jalan Raya Cisauk Lapan No.10, Sampora, Cisauk

E-mail: riana.magdalena@atmajaya.ac.id, chendrasari@gmail.com, jess.ardelia@gmail.com

ABSTRAK

PT.Mulia keramik Indahraya merupakan produsen ubin (keramik) terbesar di Indonesia. Sebagai produsen keramik, perusahaan tentunya akan memperhatikan faktor kualitas dari produk yang dihasilkan. Namun, seringkali masih terjadi kecacatan saat proses produksi. Berdasarkan hasil pengamatan tingkat kecacatan untuk produk wall tile selama tahun 2017 sebesar 200.843 pcs. Tingginya tingkat kecacatan tersebut perlu segera diminimalisir dengan menggunakan metode Statistical Process Control (SPC) dan FMEA. Dengan metode-metode ini diharapkan dapat mengurangi tingkat kecacatan pada keramik wall tile.

Data yang diperoleh dari PT.Muliakeramik Indahraya ada 4 jenis kecacatan, jumlah cacat jenis crawling sebesar 4.770, cacat jenis shipping sebesar 4.437, cacat jenis fallen dirty sebesar 3.25, cacat jenis dimple sebesar 2.912, Keempat cacat jenis ini akan diolah menggunakan SPC yaitu peta kendali P, diagram sebab-akibat, dan analisis FMEA serta diagram pareto. Berdasarkan analisis FMEA dan diagram pareto, diperoleh benturan saat pembalikan tile, benturan di dalam klin, tile terkena percikan air dan kotor, skep patah, dan body tile tidak sesuai standar merupakan empat penyebab yang perlu diprioritaskan terlebih dahulu untuk diberikan tindakan usulan perbaikan.

Kata Kunci: Kecacatan, statistical process control (SPC), FMEA

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era globalisasi saat ini, perkembangan dunia industri semakin mengarah ke perkembangan yang semakin pesat. Perkembangan dunia industri saat ini cenderung mendorong suatu persaingan antar pelaku dunia industri yang tidak bisa dihindarkan lagi. Kondisi persaingan saat ini tentunya akan berdampak besar pada cara pandang konsumen terhadap pemilihan dan penilaian suatu produk. Dahulu, konsumen menuntut adanya variasi produk, pengiriman yang tepat waktu, dan harga terjangkau. Namun, saat ini tuntutan konsumen telah berubah dan terpenuhinya 3 hal tersebut tidaklah cukup sehingga perubahan inilah yang harus direspon oleh perusahaan sebagai salah satu bagian dari strategi perusahaan.

Salah satu tuntutan konsumen saat ini adalah kualitas produk yang dihasilkan oleh perusahaan. Menurut Heizer dan Barry (2006), kualitas menjadi faktor dasar keputusan konsumen dalam memilih produk. Apabila konsumen merasa produk tertentu jauh lebih baik kualitasnya dari produk pesaingnya maka konsumen memutuskan untuk membeli produk tersebut (Sidartawan, 2014). Menurut Kartika (2013), Kualitas menjadi sangat penting dalam menentukan pemilihan produk disamping faktor harga bersaing. Berdasarkan definisi dari kualitas tersebut menunjukkan bahwa kualitas merupakan kunci utama atau salah satu strategi perusahaan untuk bertahan di lingkungan persaingan saat ini. Dengan meningkatkan kualitas dari produk yang dihasilkannya, berarti perusahaan berupaya untuk memenuhi harapan konsumen.

Menurut Suyadi Prawirosentono (2007:5), kualitas didefinisikan sebagai “Suatu keadaan fisik, fungsi, dan sifat dari suatu produk yang dapat memenuhi selera dan kebutuhan konsumen sesuai dengan uang yang dikeluarkan”. Sedangkan Feigenbaum (2009) di dalam jurnal Safrizal dan Muhajir (2016) menjelaskan bahwa kualitas adalah sejumlah atribut atau sifat-sifat sebagaimana dideskripsikan di dalam produk atau jasa yang bersangkutan dengan penggunaan produk yang ada.

Namun, perbaikan dan peningkatan kualitas dari suatu produk harus sejalan dengan pengendalian kualitas yang telah dilakukan oleh perusahaan agar diperoleh produk yang berkualitas tinggi. Melalui pengendalian kualitas ini diharapkan perusahaan dapat mengurangi atau mencegah terjadinya tingkat kecacatan hingga *zero defect* pada saat proses produksi.

Dari beberapa literatur, diperoleh definisi mengenai pengendalian kualitas dimana pengendalian kualitas merupakan salah satu proses yang perlu dilakukan mulai dari sebelum proses produksi berjalan pada saat proses produksi hingga proses produksi berakhir dengan dihasilkannya produk akhir. Dengan harapan, melalui proses ini

barang yang dihasilkan sesuai standar yang telah direncanakan pada sebelumnya (Kaban,2014). Menurut Gasperz (2005) di dalam jurnal Kaban (2014), pengendalian kualitas merupakan suatu teknik dan tindakan yang terencana yang dilakukan untuk mencapai, mempertahankan dan meningkatkan kualitas suatu produk dan jasa agar sesuai dengan standar yang telah ditetapkan dan dapat memenuhi kepuasan konsumen. Dengan dilakukan pengendalian kualitas diharapkan mendapatkan jaminan bahwa kualitas produk atau jasa yang dihasilkan sesuai dengan standar kualitas yang telah ditentukan dengan mengeluarkan biaya yang ekonomis atau serendah mungkin (Kaban,2014)

Pengendalian kualitas diawali dari pengendalian produksi, hal ini disebabkan karena kegiatan produksi yang dilakukan seringkali terjadi penyimpangan seperti produk cacat. Produk cacat merupakan produk akhir yang dihasilkan dari proses produksi dimana produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan standar mutu yang telah ditentukan (Bustami dan Nurlela, 2006 : 136). Dengan melakukan pengendalian produksi dengan baik, diharapkan produk akhir yang dihasilkan memiliki kualitas yang tinggi. Namun, seringkali pengendalian produksi telah dilakukan dengan baik masih banyak dijumpai produk cacat. Permasalahan produk cacat pada proses produksi inilah yang menjadi fokus utama perusahaan untuk dilakukan perbaikan melalui pengendalian kualitas seefisien mungkin sehingga tercipta *zero defect*.

Setiap perusahaan memiliki batas toleransi terhadap kualitas produk yang dimiliki. Salah satu perusahaan tersebut adalah PT. Muliakeramik Indahraya. Perusahaan ini bergerak di bidang produksi keramik dengan variasi produk keramik yang variatif. Sebagai produsen keramik terbesar di Indonesia, perusahaan ini berupaya untuk menghasilkan suatu produk keramik yang memiliki kualitas yang tinggi. Perusahaan ini selalu mengedepankan kualitas sebagai faktor penentu keberhasilan dalam bersaing dengan para pelaku bisnis yang sejenis. Dalam menghasilkan produk yang berkualitas tinggi tidak lepas dari pengendalian dari proses produksi. Akan tetapi, dari data jumlah produksi selama periode 2017 masih saja terdapat produk cacat. Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan, ada lima jenis kecacatan yang selalu terjadi pada setiap bulan yaitu *crawling*, *chipping*, *fallen dirty*, *dimple*, dan *others*. Dari hasil pengamatan seperti yang terjadi pada bulan Januari 2017, jumlah produksi sebesar 780.170 pcs dengan jumlah kecacatan 21782 pcs berarti dengan rata-rata produksi perhari 25167 pcs terdapat rata-rata produk cacat per hari adalah 703 pcs dengan prosentase produk cacat hampir 3%. Tingginya angka rata-rata produk cacat dalam sehari akan berpengaruh pada kualitas dari produk yang dihasilkan.

Untuk meminimasi produk cacat perlu dilakukan proses pengendalian kualitas yang baik dan konsisten. Terdapat beberapa metode untuk menyelesaikan permasalahan yang terkait dengan produk cacat. Salah satu metode yang dapat digunakan menggunakan metode *Statistical Process Control* (SPC) dan metode FMEA. Sultana dkk(2009) menyatakan bahwa *statistical process control* (SPC) digunakan untuk mengendalikan proses produksi secara berkesinambungan dan mengidentifikasi kerusakan yang terjadi ketika proses produksi berlangsung. Sedangkan metode FMEA merupakan sebuah metodologi yang digunakan untuk mengevaluasi kegagalan terjadi dalam sebuah system, desain, proses, atau pelayanan (*service*). Identifikasi kegagalan potensial dilakukan dengan cara pemberian nilai atau skor masing-masing moda kegagalan berdasarkan tingkat kejadian (*occurrence*), tingkat keparahan (*severity*), dan tingkat deteksi (*detection*) (Stamatis, 1995).

Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi faktor-faktor penyebab terjadinya kecacatan pada proses produksi keramik *wall tile*, mengidentifikasi jenis cacat yang terjadi selama proses produksi dengan metode SPC, mengetahui faktor penyebab yang memiliki pengaruh besar dan perlu dikendalikan terlebih dahulu dengan menggunakan metode FMEA serta mengetahui usulan perbaikan yang tepat untuk mengurangi terjadinya kecacatan tersebut.

1.2 Tinjauan Pustaka

1.2.1 Kualitas

Menurut Heizer dan Barry (2006), kualitas menjadi faktor dasar keputusan konsumen dalam memilih produk. Apabila konsumen merasa produk tertentu jauh lebih baik kualitasnya dari produk pesaingnya maka konsumen memutuskan untuk membeli produk tersebut (Sidartawan,2014). Menurut Kartika (2013), Kualitas menjadi sangat penting dalam menentukan pemilihan produk disamping faktor harga bersaing.

Menurut P.Philips B.Crosby (2003), Kualitas yaitu sesuai dengan yang distandarkan atau diisyaratkan. Hal ini berarti, suatu produk dikatakan memiliki kualitas apabila sesuai dengan standar kualitas yang telah ditentukan. Sedangkan menurut Irwan dan Haryono (2015), kualitas adalah keseluruhan ciri dan karakteristik produk atau jasa yang kemampuannya dapat memuaskan kebutuhan baik dinyatakan dengan tegas maupun tersamar.

1.2.2 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas merupakan salah satu cara yang perlu dilakukan mulai dari sebelum proses produksi berjalan, pada saat proses produksi, hingga proses produksi berakhir dengan menghasilkan produk akhir. Pengendalian kualitas dilakukan agar dapat menghasilkan produk berupa barang atau jasa yang sesuai dengan standar yang direncanakan atau diinginkan, serta memperbaiki kualitas produk yang belum sesuai dengan standar yang telah ditetapkan dan sebisa mungkin mempertahankan kualitas yang sesuai (Ilham,2012). Sedangkan menurut Ilham (2012), tujuan utama dari pengendalian kualitas adalah untuk mendapatkan jaminan bahwa kualitas produk

atau jasa yang dihasilkan sesuai dengan standar kualitas yang telah ditetapkan dengan mengeluarkan biaya yang ekonomis atau serendah mungkin.

Pendapat lain dari Assauri (2004), pengendalian kualitas merupakan kegiatan untuk memastikan apakah kebijakan dalam hal kualitas (standar) dapat tercermin dalam hasil akhir untuk mempertahankan mutu atau kualitas dari barang-barang yang dihasilkan agar sesuai spesifikasi produk yang telah ditetapkan.

1.2.3 Statistical Process Control

Metode pengendalian kualitas terbagi menjadi 2 yaitu *Statistical Quality Control* (SQC) dan *Statistical Process Control* (SPC). Metode *Statistical Process Control* (SPC) dikenal sebagai alat yang bersifat online untuk menggambarkan apa yang sedang terjadi, sedangkan *Statistical Quality Control* (SQC) menyediakan alat-alat offline untuk mendukung analisis dan pembuatan keputusan dalam keadaan stabil dan dapat diprediksi setiap tahapannya, hari demi hari, dan dari pemasok ke pemasok (Dorothea, 2004).

Sultana dkk (2009) menyatakan bahwa *statistical process control* (SPC) digunakan untuk mengendalikan proses produksi secara berkesinambungan dan mengidentifikasi kerusakan yang terjadi ketika proses produksi berlangsung. Definisi lain tentang metode SPC, Menurut Render (2005), metode SPC merupakan sebuah teknik yang digunakan untuk memastikan bahwa proses memenuhi standar. Sedangkan menurut Arifianti (2013), metode SPC merupakan alat untuk mengumpulkan dan menganalisis data hasil pemeriksaan terhadap sampel dalam kegiatan pengawasan kualitas produk.

Menurut Heizer dan Render (2005) di dalam jurnal Kartika (2013), Pengendalian kualitas secara statistik dengan penerapan *statistical process control* (SPC) memiliki tujuh (7) alat statistik utama yang digunakan adalah check sheet, histogram, control chart, diagram pareto, diagram sebab-akibat, scatter diagram, dan diagram proses.

1.2.4 Metode FMEA

Metode FMEA merupakan sebuah metodologi yang digunakan untuk mengevaluasi kegagalan terjadi dalam sebuah system, desain, proses, atau pelayanan (*service*). Identifikasi kegagalan potensial dilakukan dengan cara pemberian nilai atau skor masing-masing moda kegagalan berdasarkan tingkat kejadian (*occurrence*), tingkat keparahan (*severity*), dan tingkat deteksi (*detection*) (Stamatis, 1995).

Di samping itu juga, Metode FMEA merupakan teknik analisa yang mengkombinasikan teknologi dan pengalaman dalam mengidentifikasi kegagalan proses produksi dan merencanakan untuk mencegahnya terulang (Ahsen, 2008; Teng dan Ho, 1996). Keunggulan metode FMEA adalah memastikan produk akhir sesuai dengan spesifikasi, membantu desainer untuk mengidentifikasi cara kegagalan yang berbahaya, meningkatkan realibilitas dari produk (Teng dan Ho, 1996).

Menurut Puspitasari dan Martanto (2014) Dalam metode FMEA, setiap kemungkinan kegagalan yang terjadi dikuantifikasi untuk dibuat prioritas penanganan. Selain itu metode FMEA mengidentifikasi risiko dengan menggunakan 3 pertimbangan kriteria yaitu *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Nilai *severity* merupakan penilaian seberapa besarlah tingkat keseriusan dari efek yang ditimbulkan, Nilai *occurrence* menunjukkan bahwa kemungkinan penyebab tersebut akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama masa penggunaan produk, sedangkan *detection* mencerminkan pengukuran terhadap kemampuan mengendalikan kegagalan yang dapat terjadi. Ketiga nilai tersebut digunakan untuk menghitung nilai *Risk Priority Number* (RPN). Nilai RPN merupakan produk dari hasil perkalian tingkat keparahan, tingkat kejadian, dan tingkat deteksi. Nilai RPN digunakan untuk memprioritaskan kegagalan melalui cara meranking kegagalan proses potensial.

1.3 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di perusahaan PT. Muliakeramik Indahraya yang berlokasi di daerah Cikarang. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah jumlah produksi dan jenis kecacatan. Metode pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan dengan pengamatan dan diskusi langsung bagian produksi dengan salah satu jenis keramik yaitu *wall tile*.

Data yang diperoleh adalah jumlah produksi dan cacat jenis selama tahun 2017. Dari data tersebut akan dilakukan pengolahan menggunakan metode *Statistical Process Control* (SPC) dan metode FMEA, dan selanjutnya hasil keluaran metode tersebut akan diberikan usulan tindakan perbaikan. Untuk metode SPC terdiri dari kendali P, diagram sebab-akibat, diagram pareto, Pada metode FMEA akan dihitung besarnya nilai RPN.

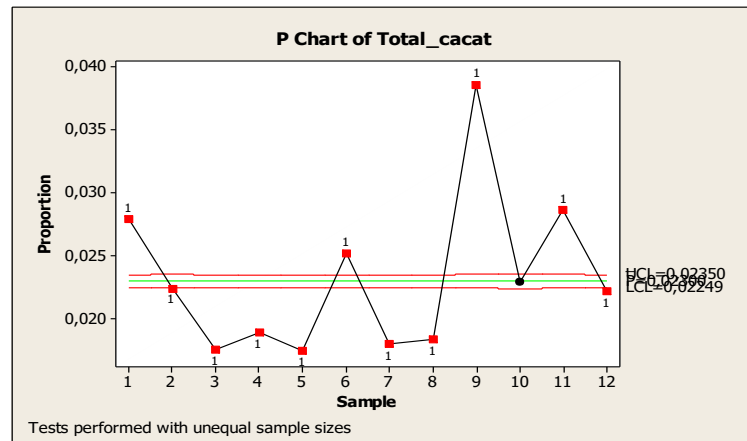
2. PEMBAHASAN

2.1 Peta Kendali P

Sebelum melakukan proses peta kendali P, maka perlu dilakukan perhitungan nilai prosentase kecacatan, nilai CL, nilai UCL, dan nilai LCL. Nilai UCL adalah batas kendali atas dan nilai LCL adalah batas kendali bawah. Baik nilai UCL maupun LCL digunakan sebagai indikator ukuran secara statistik sebuah proses bisa dikatakan menyimpang atau tidak. Setelah itu, maka langkah selanjutnya membuat peta kendali P.

Peta Kendali P adalah alat yang digunakan untuk memonitor dan mengevaluasi proses berada dalam pengendalian kualitas secara statistika, sehingga dapat memecahkan masalah dan menghasilkan perbaikan

kualitas. Peta Kendali P digunakan untuk mengendalikan proporsi dari item-item yang tidak memenuhi syarat spesifikasi kualitas atau proporsi dari produk cacat yang dihasilkan dalam suatu proses (Gasperz, 2002).



Gambar 1. Peta Kendali P

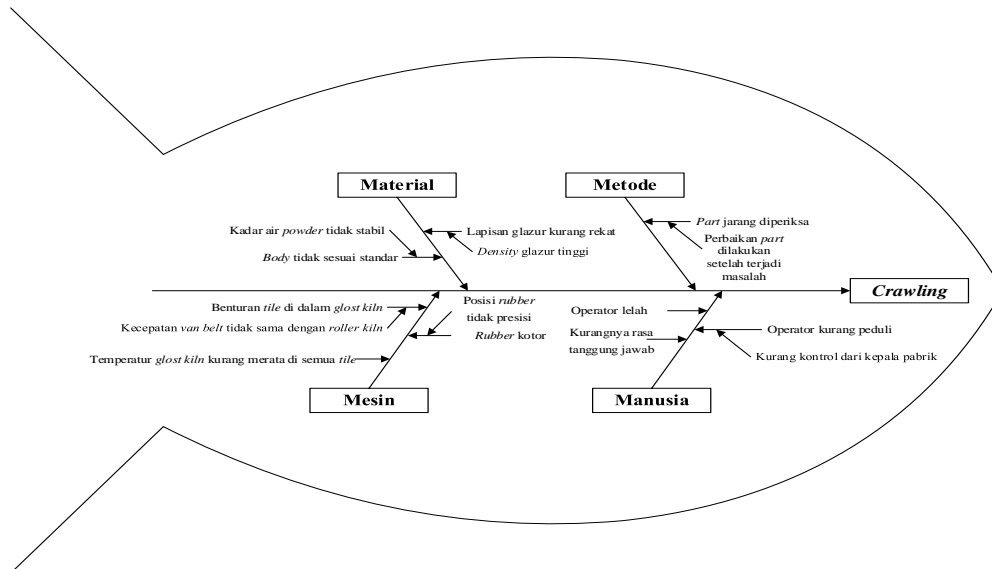
Dari gambar 1 diatas memperlihatkan masih ada titik-titik yang berada di luar batas kendali. Terdapat 11 titik yang masih berada di luar batas kendali. Untuk menentukan titik yang berada di luar kendali maupun di dalam batas kendali, dapat dilihat dari nilai LCL dan UCL yang telah dihitung. Selain itu juga, gambar 1 terlihat bahwa titik-titik tersebut memiliki pola yang naik-turun, hal ini menunjukkan bahwa pengendalian kualitas perlu dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan diagram sebab-akibat untuk mengetahui faktor penyebab dari penyimpangan/ kerusakan dari produk ini

Di samping itu juga, indikator lain yang dapat digunakan dari nilai kapabilitas proses (CP). Kapabilitas proses merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk memperkirakan keseragaman kemampuan proses produksi untuk dapat menghasilkan produk (Gasperz, 2002). Berdasarkan hasil pengolahan data untuk perhitungan Cp dan Cpk diperoleh hasil sebesar 1,163 dan 1,16. Nilai ini masih di dalam range nilai $1 \leq Cp \leq 1,33$ yang berarti kapabilitas proses baik

2.2 Diagram Sebab-Akibat

Setelah melakukan peta kendali P, maka selanjutnya dilakukan analisa dengan menggunakan diagram sebab-akibat atau dikenal dengan *fishbone diagram*. Metode *fishbone diagram* digunakan untuk mengidentifikasi dan mengetahui faktor penyebab jenis kecacatan pada produk. Hal ini sesuai dengan pernyataan (Gazperz, 1998) bahwa diagram sebab-akibat penting untuk dilakukan karena untuk menggambarkan faktor-faktor penyebab (sebab) dan karakteristik kualitas (akibat) yang disebabkan oleh faktor-faktor penyebab itu.

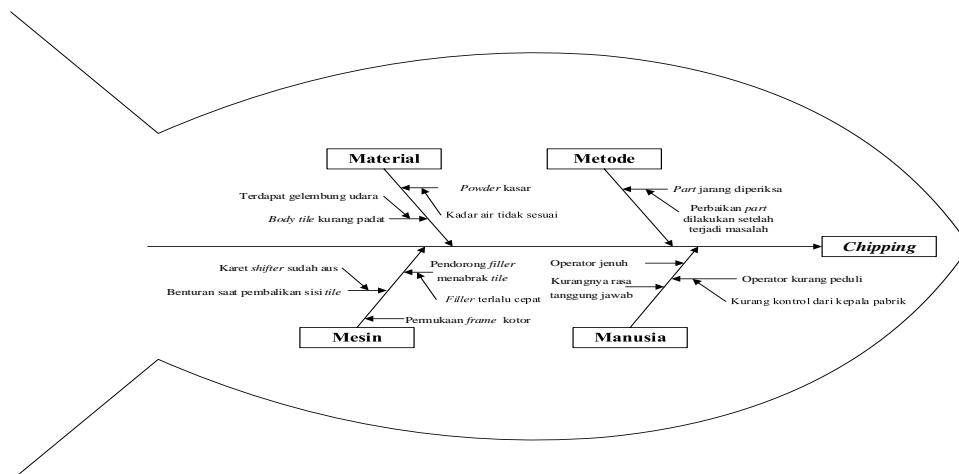
Berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan, diperoleh faktor pemicu/penyebab yang menyebabkan kecacatan pada produk tersebut terjadi. Terdapat 5 jenis kecacatan yang terjadi saat proses produksi keramik khususnya *keramik wall tile*. Setiap jenis kecacatan yang terjadi akan dilakukan analisa menggunakan diagram sebab-akibat. Di dalam diagram sebab-akibat ada 5 segi faktor yang perlu dipertimbangkan sehingga dapat mengetahui faktor penyebab dari kecacatan produk itu terjadi diantaranya faktor terhadap manusia, mesin, material, metode dan lingkungan seperti pada gambar 2,3,4,dan 5. Dan untuk lebih jelasnya akan diperlihatkan dari tabel 1, tabel 2, tabel 3, tabel 4, dan tabel 5



Gambar 2. Diagram Sebab-Akibat Jenis Cacat *Crawling*

Tabel 1. Penjelasan Diagram Fishbone Jenis Cacat *Crawling*

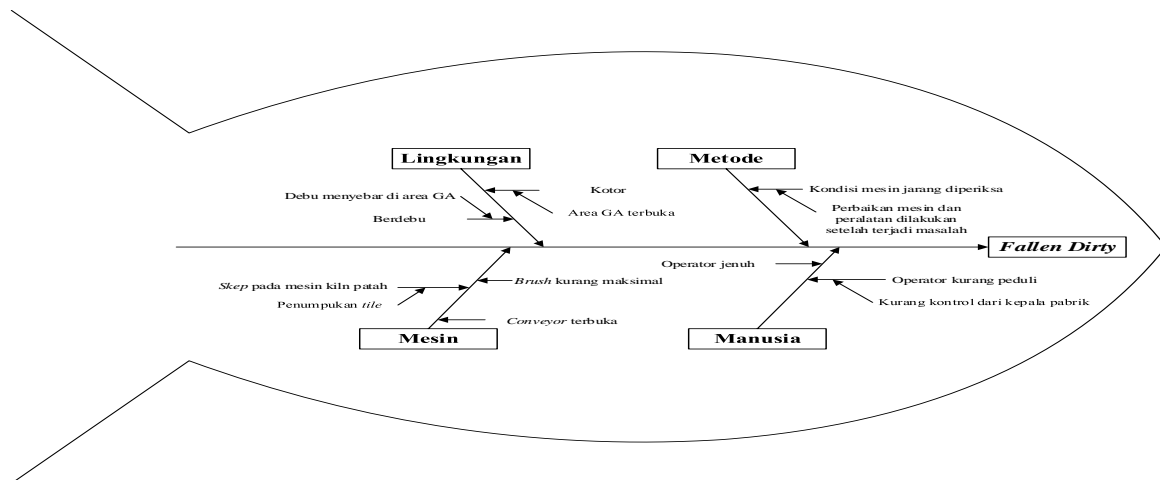
No	Bagian	Kejadian	Penyebab
1	Mesin	Temperatur glost klin kurang merata di semua tile	
		Benturan tile di dalam glost klin	Kecepatan van belt tidak sama dengan roller kiln.
		Rubber Kotor	Posisi rubber tidak presisi
2	Material	Body tidak sesuai dengan standar	Kadar air powder tidak sesuai standar
		Lapisan glazur kurang rekat	Density glazur kurang tinggi
3	Metode	Part jarang diperiksa	Perbaikan part dilakukan setelah terjadi masalah
4	Manusia	Operator lelah	
		Kurang rasa tanggung jawab	
		Operator kurang peduli	Kurangnya kontrol dari kepala pabrik



Gambar 3. Diagram Sebab-Akibat Jenis Cacat *Chipping*

Tabel 2. Penjelasan Diagram Fishbone Jenis Cacat *Chipping*

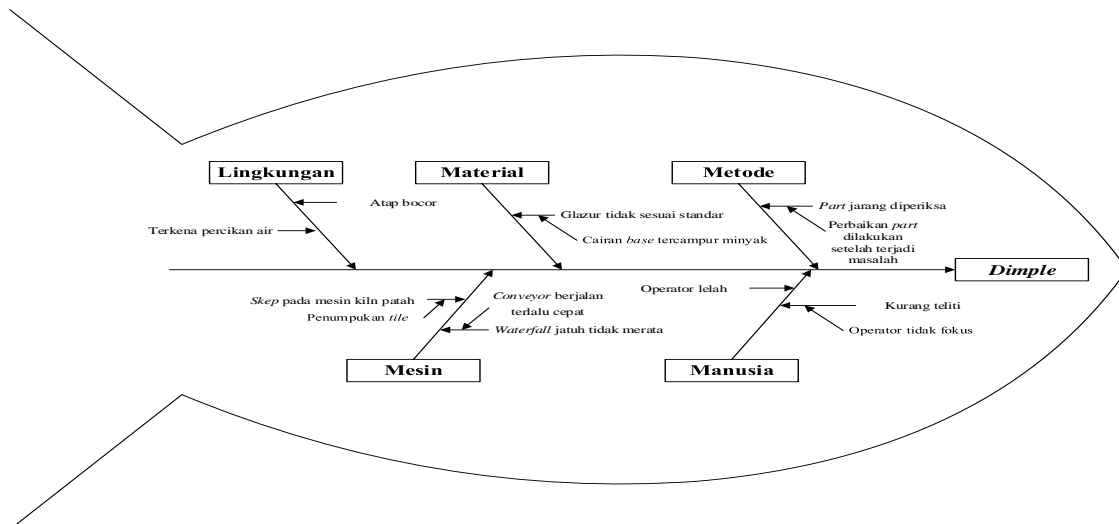
No	Bagian	Kejadian	Penyebab
1	Mesin	Benturan saat pembalikan sisi <i>tile</i>	Karet <i>shifter</i> sudah aus
		Pendorong <i>filler</i> menabrak <i>tile</i>	<i>Filler</i> terlalu cepat mendorong <i>tile</i>
		Permukaan <i>frame</i> dari cetakan <i>tile</i> kotor	
2	Material	<i>Powder</i> kasar	Kadar air <i>powder</i> tidak sesuai
		<i>Body tile</i> kurang padat	Adanya gelembung udara
3	Manusia	Operator jenuh	
		Kurang rasa tanggung jawab terhadap adanya produk cacat	
		Operator kurang peduli terhadapnya adanya produk cacat	Kurangnya kontrol dari kepala pabrik
4	Metode	Part jarang diperiksa	Perbaikan <i>part</i> dilakukan setelah terjadi permasalahan.



Gambar 4. Diagram Sebab-Akibat Jenis Cacat *Fallen Dirty*

Tabel 3. Penjelasan Diagram Fishbone Jenis Cacat *Fallen Dirty*

No	Bagian	Kejadian	Penyebab
1	Mesin	<i>Skep</i> pada mesin <i>kiln</i> patah	Adanya penumpukan <i>tile</i>
		<i>Conveyor</i> terbuka	<i>Filler</i> terlalu cepat mendorong <i>tile</i>
		<i>Brush</i> kurang maksimal dalam membersihkan permukaan <i>tile</i> .	
2	Lingkungan	Kotor	Area GA terbuka
		Berdebu	Debu menyebar di area GA
3	Manusia	Operator jenuh	
		Operator kurang peduli terhadapnya adanya produk cacat	Kurangnya kontrol dari kepala pabrik
4	Metode	Kondisi mesin jarang diperiksa	Perbaikan mesin dan peralatan dilakukan setelah terjadi permasalahan



Gambar 5. Diagram Sebab-Akibat Jenis Cacat Dimple

Tabel 4. Penjelasan Diagram Fishbone Jenis Cacat Dimple

No	Bagian	Kejadian	Penyebab
1	Mesin	Waterfall jatuh tidak merata	Conveyor berjalan terlalu cepat
		Skep pada mesin kiln patah	Penumpukan tile
2	Lingkungan	Terkena percikan air	Area GA terbuka
		Atap bocor	Debu menyebar di area GA
3	Manusia	Operator lelah	
		Operator kurang teliti	Operator tidak fokus
4	Metode	Part jarang diperiksa	Perbaikan mesin dan peralatan dilakukan setelah terjadi permasalahan
5	Material	Glazur tidak sesuai standar	Cairan base tercampur minyak

2.3 Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Setelah mengetahui faktor penyebab/pemicu yang menyebabkan kecacatan pada produk, maka langkah selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode FMEA. Pada metode FMEA, akan dilakukan penilaian terhadap tingkat *occurrence*, *severity*, dan *detection*. Nilai *severity* merupakan penilaian seberapa besar tingkat keseriusan dari efek yang ditimbulkan, Nilai *occurrence* menunjukkan bahwa kemungkinan penyebab tersebut akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama masa penggunaan produk, sedangkan *detection* mencerminkan pengukuran terhadap kemampuan mengendalikan kegagalan yang dapat terjadi. Penilaian tingkat-tingkat tersebut menggunakan skala 1-10 dimana untuk *severity* skor 1 berarti tidak ada efek dan skor 10 sangat berbahaya; untuk *Occurance* skor 1 berarti tidak pernah dan skor 10 berarti hampir selalu terjadi; Untuk *detection* skor 1 berarti hampir pasti dan skor 10 berarti hampir tidak mungkin. Baik nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection* digunakan untuk menghitung nilai *risk priority number* (RPN).

Nilai RPN merupakan produk dari hasil perkalian tingkat keparahan, tingkat kejadian, dan tingkat deteksi. Nilai RPN digunakan untuk menentukan faktor penyebab manakah yang perlu diprioritaskan terlebih dahulu untuk diberikan usulan tindakan perbaikan. Nantinya setiap faktor penyebab akan dihitung besarnya nilai *risk priority number*. Setiap nilai RPN yang diperoleh akan dilakukan proses perangkingan untuk faktor penyebab. Faktor penyebab yang memiliki nilai RPN terbesar akan dipilih dan dilakukan usulan tindakan perbaikan.

Berdasarkan tabel 5, contoh jenis cacat *chipping* akan dilakukan perhitungan *risk priority number* (RPN). Berdasarkan perhitungan *Risk priority number* (RPN) untuk cacat jenis *chipping* dihasilkan nilai RPN berbeda-beda mulai dari 60-144. Begitu sebaliknya untuk jenis cacat yang lainnya.

Dari nilai RPN yang diperoleh, maka selanjutnya akan dilakukan perangkingan terhadap faktor penyebab/pemicu. Dalam penelitian ini, untuk melakukan perangkingan RPN ditentukan dengan cara mencari nilai rata-rata RPN. Rata-rata RPN diperoleh sebesar 80. Oleh karena itu, faktor penyebab/pemicu yang memiliki nilai

RPN 80 ke atas akan diprioritaskan terlebih dahulu. Pada penelitian ini diperoleh 5 faktor penyebab/pemicu yang memiliki nilai RPN diatas rata-rata 80. Selain itu, jika melihat besar prosentase RPN seperti pada tabel 6 juga diperoleh 5 faktor penyebab/pemicu yang memiliki nilai prosentase RPN tertinggi berkisar 13.60% -7.55%.

Tabel 5. Perhitungan Nilai RPN

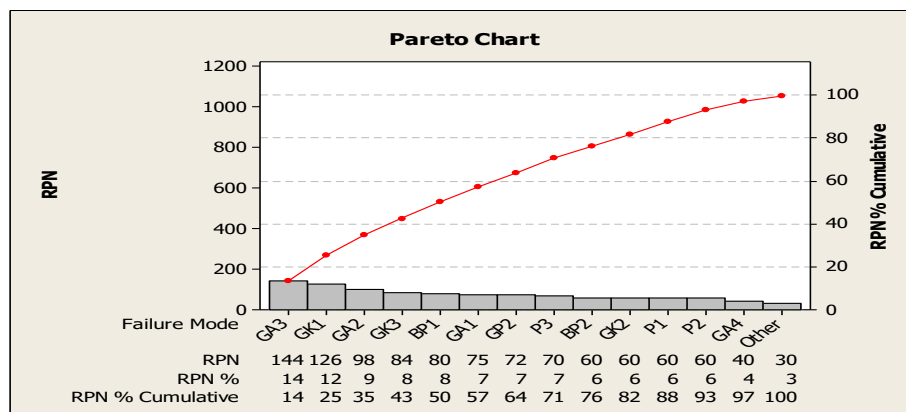
Function or Process	Failure Mode	Effect of Failure	Cause of Failure	Current Controls	Current Status			
					Occ	Sev	Det	RPN
Body Preparation	Body tile tidak sesuai standar	Crawling	Kadar air powder tidak stabil	Memperhatikan dan memperbarui spesifikasi	5	4	4	80
	Body tile kurang padat	Chipping	Terdapat gelembung udara	Menentukan tekanan yang optimal agar dapat menyebar secara merata pada powder	5	4	3	60
Glaze Preparation	Glazur tidak sesuai standar	Dimple	Tercampur dengan minyak	Membersihkan storage tank sebelum digunakan dan diberikan tutup	6	5	1	30
Glaze Preparation	Lapisan glazur kurang rekat	Crawling	Density dari glazur tinggi	Melakukan pengujian pada tile terlebih dahulu	6	4	3	72
Press	Pendorong filler menabrak tile	Chipping	Filler bergerak terlalu cepat	Men-setting ulang kecepatan filler	5	6	2	60
	Permukaan frame kotor	Chipping	Jarang dibersihkan dan dikontrol	Frame rutin dibersihkan sebelum digunakan	4	5	3	60
	Fungsi brush kurang maksimal	Fallen Dirty	Brush kotor terkena debu powder	Membersihkan brush sebelum digunakan dan mengganti brush yang sudah rusak	7	5	2	70
Glaze Application	Waterfall (fela) jatuh tidak merata	Dimple	Conveyor berjalan terlalu cepat	Kecepatan conveyor diperlambat tetapi disesuaikan dengan berat engobe dan glaze	5	5	3	75
	Tile terkena percikan air, kotor	Dimple, Fallen Dirty	Lingkungan GA dan conveyor yang terbuka	Mengganti atap yang bocor dan menggunakan conveyor tertutup	7	7	2	98
	Benturan saat pembalikan tile	Chipping	Karet shifter sudah aus	Mengganti karet shifter dan mengontrol secara detail setiap part	8	6	3	144
Glost Kiln	Rubber kotor	Crawling	Posisi rubber tidak presisi	Mengontrol kondisi rubber (posisi berubah karena tertabrak tile)	8	5	1	40
	Benturan di dalam kiln	Crawling	Kecepatan van belt tidak sama dengan roller kiln	Kecepatan van belt saat masuk ke roller kiln disamakan	7	6	3	126
	Temperature kurang merata	Crawling	Penumpukan tile	Memastikan setiap tile yang masuk ke kiln tidak ada yang menumpuk	5	4	3	60
	Skep patah	Fallen Dirty, Dimple	Penumpukan tile	Memastikan setiap tile yang masuk ke kiln tidak ada yang menumpuk	7	4	3	84

Tabel 6. Perhitungan Prosentase RPN

Failure Mode		RPN	RPN (%)	RPN %Cumulative
GA3	Benturan saat pembalikan tile	144	13.60	13.36
GK1	Benturan di dalam kiln	126	11.90	25.50
GA2	Tile terkena percikan air, kotor	98	9.25	34.75
GK3	Skep patah	84	7.93	42.68
BP1	Body tile tidak sesuai standar	80	7.55	50.24
GA1	Waterfall (fela) jatuh tidak merata	75	7.08	57.32
GP2	Lapisan glazur kurang rekat	72	6.80	64.12
P3	Fungsi brush kurang maksimal	70	6.61	70.73
BP2	Body tile kurang padat	60	5.67	76.39
P1	Pendorong filler menabrak tile	60	5.67	82.06
P2	Permukaan frame kotor	60	5.67	87.72
GK2	Temperature kurang merata	60	5.67	93.39
GA4	Rubber kotor	40	3.78	91.17
GP1	Glazur tidak sesuai standar	30	2.83	100

2.4 Diagram Pareto

Langkah selanjutnya adalah membuat diagram pareto. Diagram pareto digunakan untuk mengidentifikasi faktor pemicu/penyebab yang mengakibatkan terjadinya jenis kecacatan sehingga nantinya faktor tersebut dapat diprioritaskan untuk ditangani terlebih dahulu. Dalam penelitian ini, diagram pareto akan memfokuskan faktor penyebab yang mengakibatkan terjadinya kecacatan sehingga pada tampilan diagram pareto seperti ditunjukkan pada gambar 6 di sebelah kiri adalah nilai RPN dari faktor penyebab dan sebelah kanan adalah prosentase kumulatif RPN dan paling bawah adalah penjelasan dari jenis cacat dengan prosentase RPN dan prosentase kumulatif dari RPN.



Gambar 6. Diagram Pareto

Dari gambar 6 di atas, dapat disimpulkan bahwa urutan RPN dan prosentase RPN tertinggi dimulai dari faktor penyebab GA3, faktor penyebab GK1, faktor penyebab GA2, faktor penyebab GK3, faktor penyebab BP1, dan faktor penyebab GA1 sehingga faktor penyebab inilah yang nantinya akan diprioritaskan terlebih dahulu.

2.5 SOLUSI PERBAIKAN

Berdasarkan hasil metode FMEA dan diagram pareto, maka selanjutnya akan dilakukan usulan tindakan perbaikan terhadap 5 penyebab yang mengakibatkan terjadinya jenis kecacatan pada produk. Usulan perbaikan dapat diperlihatkan dari tabel 3.

Tabel 7. Usulan Tindakan Perbaikan

No	Penyebab Produk Cacat	Solusi
1	Benturan saat pembalikan tile	Mengganti karet shifter dan mengontrol secara detail setiap part.
2	Benturan di dalam Klin	Kecepatan van belt saat masuk roller kiln disamakan.
3	Tile terkena percikan air, kotor	Mengganti atap yang bocor dengan menggunakan conveyor tertutup.
4	Skep patah	Memastikan setiap tile yang masuk ke kiln tidak ada yang menumpuk.
5	Body tile tidak sesuai standar	Memperhatikan dan memperbaharui spesifikasi

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan evaluasi yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengamatan selama periode tahun 2017, jumlah produk cacat sebesar 200.843 dari total produksi sebesar 8.773.594
2. Jumlah jenis cacat *crawling* sebesar 4.770 pcs, jenis cacat *shipping* sebesar 4.437 pcs, jenis cacat *fallen dirty* sebesar 3.250 pcs, jenis cacat *dimple* sebesar 2.912 pcs.
3. Berdasarkan hasil perhitungan UCL, LCL, dan CL ada 11 bulan, kecacatan yang terjadi berada diluar batas kendali atau *out of control* sedangkan hanya ada 1 bulan kecacatan berada di dalam batas kendali yaitu pada bulan Oktober 2017.
4. Berdasarkan hasil diagram sebab-akibat, Penyebab timbulnya kecacatan pada produk *wall tile* berbeda-beda tergantung dengan jenis cacat yang ada. Keempat jenis cacat yang ada sebagian besar karena faktor mesin dan manusia .
5. Berdasarkan hasil perhitungan RPN pada metode FMEA, diperoleh nilai rata-rata RPN sebesar 80. Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh 5 penyebab yang memiliki nilai RPN diatas rata-rata yaitu *Body tile* tidak sesuai standar sebesar 80, *tile* terkena percikan air dan kotor sebesar 98, benturan saat pembalikan *tile* sebesar 144, benturan di dalam *kiln* sebesar 126, dan *skep* patah sebesar 84.
6. Berdasarkan diagram pareto, diperoleh penyebab utama kecacatan pada produk *wall tile* yang sama seperti pada analisis FMEA yaitu benturan saat pembalikan *tile*, benturan di dalam *kiln*, *tile* terkena percikan air dan kotor, *skep* patah, dan *body tile* tidak sesuai standar.
7. Usulan tindakan perbaikan berupa memperketat pengawasan dan pemeriksaan secara berkala untuk mengecek kondisi mesin atau *part* mesin.

3.1 SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat diberikan saran untuk PT. Muliakeramik Indahraya, sebagai berikut:

1. Melakukan pengawasan dan pemeriksaan yang rutin setiap minggunya pada mesin-mesin atau *part* mesin yang digunakan untuk memproduksi produk *wall tile* agar tidak menghambat proses produksi.
2. Mengganti *part* atau *tools* pada mesin yang sudah tidak berfungsi secara maksimal, sebelum terjadinya kerusakan.
3. Memberikan *training* atau pelatihan secara berkala kepada para pekerja agar semakin teliti dan terampil. Pelatihan yang diberikan mengenai cara mengurangi produk cacat dan pengetahuan cara menggunakan mesin baru.
4. Memberikan pemahaman mengenai SOP kepada para pekerja sehingga dapat mengetahui apa yang harus dilakukan agar tidak terjadi kecacatan pada produk.
5. Memperketat pengawasan terhadap pekerja sehingga teliti dalam melakukan pekerjaan dan memberikan teguran apabila pekerja tidak fokus dalam melakukan pekerjaannya.
6. Mengganti atap pabrik yang bocor dan menggunakan *conveyor* tertutup pada area *glaze application*, agar terhindar dari kotoran dan percikan air.
7. Memberikan motivasi kepada para pekerja sehingga kinerja kerja semakin baik, seperti memberikan insentif apabila produk cacat berkurang.

PUSTAKA

- Ahsen, V.A. 2008. Cost-Oriented Failure Mode And Effects Analysis. *International Journal Of Quality & Reliability Management*. Vol.25(5): 466-476.
- Ariani, W.D. 2004. *Pengendalian Kualitas Statistik (Pendekatan Kuantitatif Dalam Manajemen Kualitas)*. Yogyakarta: Andi Offset
- Arifianti, R. 2013. Analisis Kualitas Produk Sepatu TOMKINS. *Jurnal Dinamika Manajemen*. Vol.4 (1): 46-58.
- Assauri, S. 2004. *Manajemen Pemasaran*. Jakarta: Rajawali Press
- Bastian Bustami & Nurlela. 2006. *Akutansi Biaya : Kajian Teori dan Aplikasi*. Edisi Pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Crosby, Philip B. 2003. *Quality is Free: The Art Of Making Quality Certain*. Penguin
- Feigenbaum, AV. 2009. *Kendali Mutu Terpadu*. Jakarta: Erlangga.
- Heizer, J., Barry, R. 2005. *Manajemen Operasi (Edisi ke-7)*. Jakarta: Penerbit Salemba Empat.
- Heizer, J., Barry, R. 2006. *Manajemen Operasi*. Jakarta: Penerbit Salemba Empat.
- Ilham, N.M. 2012. Analisis Pengendalian Kualitas Produk Dengan Menggunakan Statistical Processing Control (SPC) Pada PT.Bosowa Media Grafika (Tribun Timur), *Skripsi*, Online, (<http://core.ac.uk/download/pdf25487063.pdf> diakses 12 Mei 2018)
- Irawan, I., Sukanta. 2017. Pengendalian Proses Produksi Dengan Metode Statistical Process Control Dalam Upaya Minimasi Cacat Tissue Paper. *Prosiding SNTI dan SATELIT* : D64-69.
- Kartika, H. 2013. Analisis Pengendalian Kualitas Produk CPE Film Dengan Metode *Statistical Process Control* pada PT. MSI. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, Vol. 1 (1): 50-58.
- Kaban, R.. 2014. Pengendalian Kualitas Kemasan Plastik *Pouch* Menggunakan Statistical Process Control (SPC) di PT. Incasi Raya Padang. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, Vol.13 (1): 518-547
- Martanto, A., Puspitasari., B.N. Penggunaan FMEA Dalam Mengidentifikasi Resiko Kegagalan Proses Produksi Sarung ATM (Alat Tenun Mesin) Studi Kasus PT. ASAPUTEX JAYA TEGAL. *J@TI Undip*, Vol IX (2): 93-98.
- Mursid, M. 2014. *Manajemen Pemasaran*. Jakarta: Bumi Aksara
- Prawirosentoso, S. 2007. *Filosofi Baru Tentang Manajemen Mutu Terpadu Abad 21 "Kiat Membangun Bisnis Kompetitif"*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Safrizal, Muhajir. 2016. Pengendalian Kualitas dengan Metode Six Sigma. *Jurnal Manajemen dan Keuangan*. Vol.5 (2) : 615-626
- Sidartawan, Robertus. 2014. Analisa Pengendalian Proses Produksi Snack Menggunakan Metode *Statistical Process Control* (SPC). *Jurnal ROTOR*, Vol. 7 (2).
- Stamatis, D.H. 1995. *Failure Mode and Effect Analysis : FMEA from Theory to Execution*, Milwaukee: ASQC Quality.
- Sultana, F., Razeve, I.N., & Azeem, A. 2009. Implementation Of Statitital Process Control (SPC) For Manufacturing Improvement. *Journal of Mechanical Engineering*, Vol. ME 40(1)
- Tannady, H.2015. *Pengendalian Kualitas* (Edisi ke-41). Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Teng,S.H., Ho, S.Y. 1996. Failure Mode And Effects Analysis: An Integrated Approach For Product Design and Process Control. *International Journal Of Quality & Reliability Management and Health*, Vol.13(3): 290-297.
- V.Gasperz. 2005. *Total Quality Manajemen*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama
- Yusuf, Y.M., Riandadari, D. 2016. Analisa Kualitas Produk Menggunakan Metode SPC Dan RPN Untuk Mengurangi Jumlah Cacat Produk Kantong Plastik, Studi Kasus Di PT. HSKU. *JTM*. Vol. 4 (2): 185-194.

PENGUNAAN METODE KANO UNTUK MENGANALISIS KUALITAS LAYANAN BOOKING HOTEL MELALUI TRAVELOKA

Wibawa Prasetya¹, Debby Karini²

Prodi Teknik Industri, Fakultas teknik Unika Atma Jaya Jakarta
Jalan Jenderal sudirman No. 51 Jakarta Selatan

Telp. (021)5703306

Jurusan Mass Communication, The London School of Public Relations - Jakarta

Jalan K.H. Mas Mansyur Kav.35, Jakarta 10220

Telp. (021) 5794 3751

E-mail:wibawaprasetya20@yahoo.com, debbykarini30@gmail.com

ABSTRAK

Traveloka dikenal sebagai perusahaan reservasi tiket pesawat dan hotel, dimana pengguna dapat melakukan pemesanan atau reservasi melalui situs Traveloka.com maupun aplikasi bagi yang menggunakan android ataupun IOS. Kepuasan pelanggan merupakan faktor yang perlu diperhatikan oleh perusahaan, dimana kepuasan pelanggan merupakan tingkat perasaan seseorang setelah membandingkan hasil kinerja yang ia rasakan dibandingkan dengan harapannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas layanan booking hotel yang dimiliki Traveloka jika dianalisis dengan Metode Kano serta untuk mengetahui kualitas layanan yang diberikan Traveloka terhadap kepuasan pengguna. Dimensi kualitas layanan menggunakan basis servqual. Metode Kano digunakan untuk menganalisa dan mengkatagorikan atribut-atribut dari kualitas pelayanan, berdasarkan seberapa baik tingkat pelayanan tersebut mampu memuaskan kebutuhan pengguna layanan booking hotel.. Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa aspek kualitas pelayanan yang ada belum memberikan kepuasan pengguna. Selain itu terdapat perbedaan preferensi yang dimiliki pengguna, sehingga manajemen Traveloka sebaiknya segera melakukan perbaikan kualitas pelayanan dan lebih mengutamakan harapan pengguna.

Kata Kunci: Kano, Service Quality, Traveloka

1. PENDAHULUAN

Komunikasi dewasa ini memungkinkan orang dapat saling berkomunikasi kapanpun dan dimanapun berada. Dengan perkembangan komunikasi yang kian pesat komunikasi tidak hanya dilakukan dengan tatap muka, namun kini dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai media.

Pada dasarnya komunikasi massa adalah komunikasi melalui media massa (media cetak dan elektronik). Menurut Jay Black dan Frederick C. Whitney (1988) fungsi komunikasi massa antara lain: (1) to inform (menginformasikan), (2) to entertain (memberikan hiburan), (3) to persuade (membujuk), dan (4) transmission of the culture (transmisi budaya). (Nurudin, 2015).

Setiap orang membutuhkan informasi sebagai bagian dari tuntutan kehidupan serta penunjang kegiatan sehari-hari. Internet dianggap sangat bermanfaat bagi pemenuhan kebutuhan informasi tersebut. Hasil survei Data Statistik Pengguna Internet tahun 2016 yang dilakukan oleh APJII (Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia) menunjukkan bahwa jumlah pengguna Internet di Indonesia tahun 2016 adalah 132,7 juta user atau sekitar 51,5% dari total jumlah penduduk Indonesia sebesar 256,2 juta (APJII, 2016).

Penggunaan media website sangat menguntungkan berbagai pihak. Melihat berkembangnya internet yang pesat seperti sekarang, kini untuk memesan kamar hotel dapat dilakukan dengan mudah, efisien dan praktis.

Melalui kemunculan internet memberikan banyak kemudahan bagi pengguna yang mencari informasi seputar hotel maupun yang ingin melakukan reservasi hotel. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa dengan adanya internet, kini pencarian dan reservasi hotel dengan *online* merupakan sebuah cara yang paling efisien dan mempermudah masyarakat untuk memperoleh layanan *booking* hotel secara cepat dan tanpa harus menghabiskan banyak waktu. Sebelumnya untuk melakukan reservasi dan pencarian kamar kosong biasa dilakukan dengan cara datang langsung ke hotel tujuan atau dengan menghubungi hotel yang dituju. Kegiatan seperti itu akan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mendapatkan informasi mengenai kamar dan ruangan yang masih tersedia.

Dengan adanya perkembangan internet, pencarian dan pemesanan hotel secara *online* tidak lagi membutuhkan waktu yang lama dengan cara mendatangi lokasi hotel yang akan dipesan. Saat ini konsumen cukup hanya dengan melakukan pencarian dan reservasi hotel yang diinginkan melalui website yang telah disediakan.

Salah satu situs pencarian dan pemesanan hotel yang saat ini sedang populer adalah Traveloka.com. Traveloka adalah perusahaan teknologi terkemuka di Indonesia yang menyediakan layanan pencarian dan pemesanan hotel dan tiket pesawat secara *online*.

Dalam sebuah layanan jasa berbasis *online*, kualitas pelayanan adalah salah satu faktor kesuksesan yang berpengaruh bagi persaingan perusahaan. Mengukur kualitas merupakan peranan penting untuk menjaga keberlangsungan sebuah perusahaan. Pengukuran kualitas dapat dilakukan pada perusahaan manufaktur maupun jasa.

Kepuasan pengguna *booking* hotel secara *online* dapat diukur dengan berbasis *Servqual*, adapun caranya dengan melakukan penilaian kinerja setiap atribut dari dimensi kualitas pelayanan kemudian membandingkannya dengan tingkat harapan pengguna *booking* hotel *online*.

Mengingat kualitas layanan *booking* hotel secara *online* merupakan faktor yang dibutuhkan pengguna jasa maka perlu dilakukan penelitian mengenai kualitas layanan jasa *booking* hotel secara *online* melalui Traveloka sebagai subjek penelitian.

Untuk metode pengolahan datanya digunakan Metode Kano yang bertujuan untuk mengkategorikan atribut-atribut dari sebuah jasa atau produk seberapa baik jasa atau produk terutama yang melalui media Traveloka agar mampu memuaskan kebutuhannya. Dengan Metode Kano ini, akan mendorong perusahaan untuk memperhatikan bagaimana untuk meningkatkan kualitas layanannya.

New Media

Flew dalam Suryanto (2015) mendefinisikan media baru sebagai kombinasi dari format 3Cs, yaitu *computing and information technology, communication networks*, dan *content* (media). Adanya kebutuhan untuk menyadari cara berkomunikasi melalui teknologi yang dewasa ini telah mengubah komunikasi dalam praktik sosial, membuat media baru konsisten dengan pembelajaran media.

New Media yang terdiri atas teknologi berbasis komputer. Teknologi komunikasi ini termasuk email, internet, televisi kabel digital, teknologi video seperti DVD, pesan instant (*instant-messaging-IM*) dan telepon genggam (West, Turnr, 2008).

Kualitas Pelayanan

Parasuraman (2002) dalam Sangadji & Sopiah (2013) mendefinisikan kualitas jasa sebagai tingkat keunggulan yang diharapkan dan pengendalian atas tingkat keunggulan tersebut untuk memenuhi keinginan pelanggan. Sedangkan menurut Tjiptono (2005) menjelaskan bahwa apabila jasa yang diterima atau disarankan sesuai dengan yang diharapkan, kualitas jasa dipersepsikan baik dan memuaskan. Kualitas jasa dipersepsikan sebagai kualitas yang ideal jika jasa yang diterima oleh pelanggan melampaui harapannya. Namun sebaliknya, jika jasa yang diterima lebih rendah daripada yang diharapkan, maka persepsi kualitas jasa akan buruk.

Jasa tidak kasat mata dan kualitas teknik jasa tidak selalu dapat dievaluasi secara akurat, sehingga pelanggan berusaha menilai kualitas jasa berdasarkan apa yang dirasakannya, yaitu dengan atribut-atribut yang mewakili kualitas proses dan kualitas pelayanan (Rangkuti, 2006, p.29).

Dimensi Kualitas Layanan

Parasuraman (2002) dalam buku Perilaku Konsumen (2013) mengemukakan lima dimensi kualitas jasa, yaitu:

a. Keandalan (Reliability)

Kemampuan untuk memberikan pelayanan yang dijanjikan dengan tepat dan untuk dipercaya, terutama memberikan jasa secara tepat waktu dengan cara yang sama sesuai dengan jadwal yang telah dijanjikan, tanpa melakukan kesalahan.

b. Daya Tanggap (Responsiveness)

Kemauan atau keinginan para karyawan untuk membantu memberikan jasa yang dibutuhkan konsumen.

c. Jaminan (Assurance)

Menghilangkan rasa keragu-raguan konsumen dan membuat mereka merasa terbebas dari bahaya dan resiko dengan cara memberikan jaminan berupa pengetahuan, kemampuan, keramahan, kesopanan dan sifat dapat dipercaya dari kontak personal.

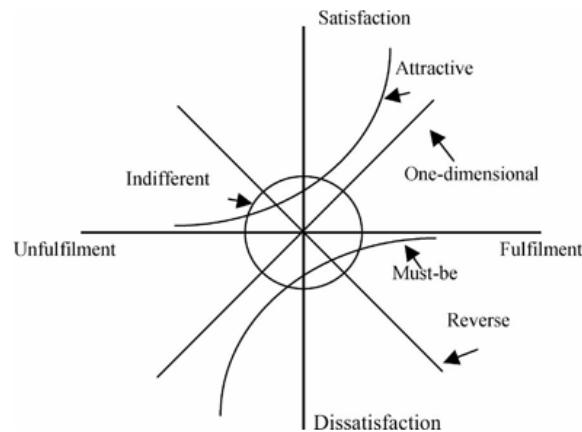
d. Empati (Empathy)

Sikap kontak personal atau perusahaan untuk memahami kebutuhan dan kesulitan, konsumen, komunikasi yang baik, perhatian pribadi, dan kemudahan untuk melakukan komunikasi atau hubungan.

e. Produk-Produk Fisik (Tangibles)

Tersedianya fasilitas fisik, perlengkapan dan sarana komunikasi, dan lain-lain yang bisa dan harus ada dalam proses jasa.

Metode Kano



Gambar 1. Diagram Kano

Metode Kano dikembangkan pertama kali oleh Noriaki Kano (Kano, 1984). Metode Kano adalah metode yang bertujuan mengkategorikan atribut-atribut produk maupun jasa berdasarkan seberapa baik atribut tersebut mampu memuaskan kebutuhan pelanggan. Atribut-atribut layanan dapat dibedakan menjadi beberapa kategori, yaitu (Wijaya, 2011):

- Attractive/excitement needs*, dimana konsumen akan merasa lebih puas dengan meningkatnya kinerja atribut. Namun, penurunan kinerja atribut tidak akan menyebabkan penurunan tingkat kepuasan.
- One dimensional*, apabila kategori ini terpenuhi maka kepuasan pelanggan meningkat. Jika sebaliknya, akan menyebabkan menurunnya kepuasan. Dengan arti lain, tingkat kepuasan pelanggan berhubungan linier dengan kinerja atribut. Artinya, menurunnya kinerja atribut akan menurunkan pula tingkat kepuasan pelanggan.
- Must be/basic*, jika layanan itu ada, pelanggan tidak akan meningkatkan kepuasannya. Sebaliknya, jika tidak ada maka pelanggan tidak puas. Kategori ini merupakan kebutuhan dasar yang harus dipenuhi oleh penyedia jasa oleh konsumennya. Namun bila meningkatkan kinerja kategori ini, perusahaan tidak akan meningkatkan kepuasan konsumen. Walaupun kepuasan konsumen tidak akan meningkat dengan atribut-atribut pada kategori ini, tetapi atribut-atribut ini wajib dipenuhi oleh perusahaan. Dengan kata lain atribut tersebut harus ada pada setiap produk/jasa agar dapat diterima.
- Indifferent*, merupakan kategori yang tidak akan memberikan pengaruh pada kepuasan konsumen.
- Reverse*, kategori ini merupakan kebalikan dari kategori *one dimensional*, yaitu derajat kepuasan konsumen lebih tinggi jika layanan berlangsung tidak semestinya, bila dibandingkan kepuasan terhadap layanan yang berjalan dengan baik.
- Questionable*, konsumen puas atau tidak puas jika layanan itu diberikan atau tidak diberikan.

Dari kategori Kano tersebut, yang biasanya dapat dirasakan secara nyata, yaitu kategori *must be*, *one dimensional*, dan *attractive*. Jika terdapat ketidaktahuan terhadap kategori atribut layanan ini dapat mengakibatkan nilai negatif bagi perusahaan pemberi jasa.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian kuantitatif. Dimana metode kuantitatif adalah riset yang menggambarkan atau menjelaskan suatu masalah yang hasilnya dapat digeneralisasikan, sehingga data atau hasil riset dianggap merupakan representasi dari seluruh populasi (Kriyantono, 2009).

Populasi

Sugiyono (2007:90) dalam Suryani & Hendryadi (2017) mendefinisikan populasi sebagai wilayah generalisasi yang terdiri atas objek atau subjek yang memiliki kualitas dan karakteristik tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulannya.

Populasi yang akan diteliti di dalam penelitian ini adalah seluruh pengguna situs Traveloka maupun yang memiliki aplikasi Traveloka dengan jumlah yang tidak diketahui, peneliti menganggap bahwa populasi pengguna ini cukup mewakili populasi serta sampel yang akan diteliti.

Sampel

Teknik sampel yang digunakan adalah *Non-probability sampling* dengan menggunakan *Quota Sampling*. Dimana *Quota Sampling* merupakan teknik menentukan jumlah sampel dari populasi yang memiliki ciri tertentu sampai jumlah kuota (jatah) yang diinginkan. (Suryani, 2017, p.201).

Jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah 150 responden. Berdasarkan ketetapan Hair *et al* (2010) jumlah sampel minimal adalah 5-10 kali jumlah item pernyataan yang terdapat pada kuesioner. Jumlah pernyataan berdasarkan dimensi Servqual dalam penelitian ini berjumlah 19. Maka jumlah sampel untuk responden dalam penelitian yaitu sebanyak $19 \times 5 = 95$ untuk minimal dan $19 \times 10 = 190$ untuk maksimal. Oleh karena itu, jumlah sampel dalam penelitian ini ditetapkan sebanyak 150 responden. Teknik sampling yang digunakan adalah *purposive sampling*.

Pengolahan Data Dengan Metode Kano

Pada tahap ini, data-data yang sudah didapat akan diolah dengan metode kano, kemudian menentukan kategori atribut tiap responden, caranya dengan menentukan jawaban keseluruhan dari tiap responden berdasarkan pengelompokan dari pertanyaan *functional* dan *dysfunctional*.

Berikut langkah-langkah pengukuran kualitas layanan dengan metode Kano yang diadaptasi dengan dimensi Servqual (Wijaya, 2011):

- Identifikasi atribut, dengan melakukan pengelompokan berdasarkan dimensi Servqual. Dari atribut-atribut tersebut, disusun pra-kuesioner yang dikelompokkan menurut dimensi Servqual.
- Test pra-kuesioner Kano berdimensi Servqual, dengan cara menyebarkan kuesioner kepada konsumen untuk mengidentifikasi pertanyaan mana yang dianggap tidak perlu oleh konsumen.
- Penyusunan kuesioner.

Langkah-langkah untuk mengklasifikasikan atribut berdasarkan metode Kano, sebagai berikut:

- Menentukan atribut tiap responden

Tabel 1. Penentuan Kategori Kano

		Dysfunctional				
		1	2	3	4	5
		Suka	Mengharapkan	Netral	Memberikan Toleransi	Tidak Suka
Functional	5 Suka	Q	A	A	A	O
	4 Mengharapkan	R	I	I	I	M
	3 Netral	R	I	I	I	M
	2 Memberikan Toleransi	R	I	I	I	M
	1 Tidak Suka	R	R	R	R	O

Keterangan:

Q = *Questionable*

I = *Indifferent*

R = *Reverse*

O = *One dimensional*

A = *Attractive*

M = *Must be*

- Menghitung jumlah masing-masing kategori Kano dalam tiap-tiap atribut.
- Menentukan kategori Kano untuk tiap atribut dengan menggunakan Blauth Formula (Walden, 1993) sebagai berikut:
Jika $(one-dimensional + attractive + must\ be) > (indifferent + reverse + questionable)$, maka grade diperoleh dari yang paling maksimum dari $(one-dimensional, attractive, must\ be)$.

Jika $(one-dimensional + attractive + must\ be) < (indifferent + reverse + questionable)$, maka grade diperoleh dari yang paling maksimum dari $(Indifferent, reverse, questionable)$.

Tindakan perbaikan, panduan umum bagi organisasi dalam menentukan target untuk kategori Kano adalah berupaya memenuhi semua atribut *must be*, mempunyai kinerja lebih baik daripada kompetitor pada atribut one-dimensional, dan memuaskan atribut *attractive* yang berbeda dengan kompetitor.

2. PEMBAHASAN

Instrumen penelitian yang digunakan adalah kuesioner yang merupakan hasil rancangan yang dibangun dari informasi hasil penyebaran kuesioner. Kuesioner ini telah melalui tahap uji validitas dan reliabilitas dalam pilot study, sehingga terbukti secara empirik layak untuk dijadikan instrument penelitian.

Skala yang digunakan dalam kuesioner ini adalah skala likert dengan pilihan 5 pilihan jawaban.

Tabel 2. Nilai Skala Harapan

Skala Harapan	Nilai
SH = Sangat Mengharapkan	5
H = Mengharapkan	4
CH = Cukup Mengharapkan	3
KH = Kurang Mengharapkan	2
TH = Tidak Mengharapkan	1

Tabel 3. Nilai Skala Kinerja

Skala Kinerja	Nilai
SP = Sangat Puas	5
P = Puas	4
CP = Cukup Puas	3
KP = Kurang Puas	2
TP = Tidak Puas	1

Tabel 4. Nilai Skala Functional

Skala Functional	Nilai
S = Suka	5
M = Mengharapkan	4
N = Netral	3
MT = Memberikan Toleransi	2
TS = Tidak Suka	1

Tabel 5. Nilai Skala Dysfunctional

Skala Functional	Nilai
S = Suka	1
M = Mengharapkan	2
N = Netral	3
MT = Memberikan Toleransi	4
TS = Tidak Suka	5

Tabel 6. Hasil Kuesioner Harapan, Kinerja dan Gap Tiap Atribut

No	Pernyataan	Harapan	Kinerja	Gap
<i>Reliability</i>				
1	Mutu layanan yang diberikan oleh Traveloka baik	4.293	4.04	-0.253
2	Traveloka tidak melakukan kesalahan dalam input data	4.26	3.986	-0.274
3	Traveloka menyediakan tampilan menu yang lengkap dan terorganisir dengan baik	4.293	4.1	-0.193
4	Traveloka memberikan informasi hotel yang efisien dan terkini	4.386	4.046	-0.34
5	Informasi pencarian hotel di Traveloka sangat jelas	4.38	4.086	-0.294

	MEAN	4.3224	4.0516	-0.2708
	Responsiveness			
6	Traveloka cepat dalam memberikan solusi keluhan pengguna	4.006	3.64	-0.366
7	Traveloka cepat dan tanggap dalam menjawab pertanyaan pengguna	4.066	3.606	-0.46
	MEAN	4.036	3.623	-0.413
	Assurance			
8	Traveloka dapat dipercaya	4.34	3.913	-0.427
9	Traveloka melaksanakan layanan sesuai dengan yang dijanjikan	4.126	4.026	-0.1
10	Informasi hotel-hotel di Traveloka dapat dipercaya	4.333	4.026	-0.307
11	Traveloka melindungi informasi data pribadi pengguna	4.28	3.913	-0.367
12	Keluhan dan permasalahan pengguna situs Traveloka dapat teratasi	4.133	4.026	-0.107
13	Keamanan dalam melakukan transaksi pembayaran	4.386	4.133	-0.253
	MEAN	4.26633333	4.006167	-0.260167
	Empathy			
14	Pemberian point atau rewards kepada pengguna setia Traveloka	3.953	3.74	-0.213
15	Traveloka memfasilitasi pengguna untuk menyampaikan saran dan keluhan	4.08	3.853	-0.227
16	Traveloka tidak membedakan antar pengguna	4.18	3.913	-0.267
17	Traveloka meninggalkan kesan yang baik pada pengguna	4.253	3.68	-0.573
	MEAN	4.1165	3.7965	-0.32
	Tangibles			
18	Traveloka memiliki tampilan yang menarik	4.206	3.98	-0.226
19	Traveloka mudah dan cepat diakses oleh pengguna	4.34	4.086	-0.254
	MEAN	4.273	4.033	-0.24

Tabel 7. Harapan, Kinerja, dan Gap Tiap Dimensi

No.	Dimensi	Harapan	Kinerja	Gap
1	<i>Reliability</i>	4.3224	4.0516	-0.2708
2	<i>Responsiveness</i>	4.036	3.623	-0.413
3	<i>Assurance</i>	4.266	4.006	-0.26
4	<i>Empathy</i>	4.116	3.796	-0.32
5	<i>Tangibles</i>	4.273	4.033	-0.24
	MEAN	4.20268	3.90192	-0.30076

Tabel 8. Perbandingan Preferensi Model Kano Pengguna Layanan Booking Hotel Melalui Traveloka dan Manajemen

No.	Pernyataan	Kategori Kano	
		Pengguna	Manajemen

<i>Reliability</i>			
1	Mutu layanan yang diberikan oleh Traveloka baik	<i>Must be</i>	<i>One Dimensional</i>
2	Traveloka tidak melakukan kesalahan dalam input data	<i>Attractive</i>	<i>Must be</i>
3	Traveloka menyediakan tampilan menu yang lengkap dan terorganisir dengan baik	<i>One Dimensional</i>	<i>One Dimensional</i>
4	Traveloka memberikan informasi hotel yang efisien dan terkini	<i>One Dimensional</i>	<i>One Dimensional</i>
5	Informasi pencarian hotel di Traveloka sangat jelas	<i>Must be</i>	<i>Attractive</i>
<i>Responsiveness</i>			
6	Traveloka cepat dalam memberikan solusi keluhan pengguna	<i>Must be</i>	<i>Must be</i>
7	Traveloka cepat dan tanggap dalam menjawab pertanyaan pengguna	<i>Must be</i>	<i>Must be</i>
<i>Assurance</i>			
8	Traveloka dapat dipercaya	<i>Must be</i>	<i>Must be</i>
9	Traveloka melaksanakan layanan sesuai dengan yang dijanjikan	<i>One Dimensional</i>	<i>One Dimensional</i>
10	Informasi hotel-hotel di Traveloka dapat dipercaya	<i>One Dimensional</i>	<i>One Dimensional</i>
11	Traveloka melindungi informasi data pribadi pengguna	<i>Must be</i>	<i>One Dimensional</i>
12	Keluhan dan permasalahan pengguna situs Traveloka dapat teratasi	<i>One Dimensional</i>	<i>Must be</i>
13	Keamanan dalam melakukan transaksi pembayaran	<i>Must be</i>	<i>One Dimensional</i>
<i>Assurance</i>			
14	Pemberian point atau rewards kepada pengguna setia Traveloka	<i>Must be</i>	<i>Attractive</i>
15	Traveloka memfasilitasi pengguna untuk menyampaikan saran dan keluhan	<i>Indifferent</i>	<i>Indifferent</i>
16	Traveloka tidak membedakan antar pengguna	<i>Must be</i>	<i>Must be</i>
17	Traveloka meninggalkan kesan yang baik pada pengguna	<i>Indifferent</i>	<i>Indifferent</i>
<i>Tangibles</i>			
18	Traveloka memiliki tampilan yang menarik	<i>Must be</i>	<i>Must be</i>
19	Traveloka mudah dan cepat diakses oleh pengguna	<i>Attractive</i>	<i>One Dimensional</i>

Analisa Diagram Kano

Berdasarkan penilaian jawaban responden dengan Diagram Kano, maka diketahui interpretasinya sebagai berikut:

Must Be

Dari Tabel 8 di atas dapat diketahui bahwa kategori Kano pengguna pada atribut 1,5,6,7,8,11,13,14,16, dan 18 merupakan atribut dengan kategori *Must be* dimana kategori ini dapat diartikan jika pelayanan untuk atribut ini rendah maka kepuasan pengguna akan rendah juga. Akan tetapi jika pelayanan atribut ini tinggi, kepuasan pengguna tidak akan meningkat jauh di atas netral. Dengan demikian atribut ini dapat dikatakan sebagai suatu kewajiban yang harus ada di dalam pelayanan. Berikut atribut yang termasuk dalam kategori *Must Be*:

- Mutu layanan yang diberikan oleh Traveloka baik
- Informasi pencarian hotel di Traveloka sangat jelas
- Traveloka cepat dalam memberikan solusi keluhan pengguna
- Traveloka cepat dan tanggap dalam menjawab pertanyaan pengguna
- Traveloka dapat dipercaya
- Traveloka melindungi informasi data pribadi pengguna
- Keamanan dalam melakukan transaksi pembayaran
- Pemberian point atau rewards kepada pengguna setia Traveloka
- Traveloka tidak membedakan antar pengguna
- Traveloka memiliki tampilan yang menarik

One Dimensional

Merupakan kategori yang tingkat kepuasan pelanggannya berhubungan linier dengan pelayanan kinerja yang dirasakan, sehingga jika pelayanan kinerja yang dirasakan pengguna tinggi maka akan mengakibatkan kepuasan pengguna yang tinggi pula dan apabila pelayanan kinerja yang dirasakan pengguna rendah maka akan mengakibatkan kepuasan pengguna yang rendah juga. Dalam hal ini pengguna menilai bahwa seluruh atribut dengan kategori *One dimensional* perlu ditingkatkan agar kepuasan pengguna semakin tinggi dan baik.

Dari Tabel 8 diketahui atribut *One Dimensional* yaitu 3, 4, 9, 10, dan 12 :

- Traveloka menyediakan tampilan menu yang lengkap dan terorganisir dengan baik
- Traveloka memberikan informasi hotel yang efisien dan terkini
- Traveloka melaksanakan layanan sesuai dengan yang dijanjikan
- Informasi hotel-hotel di Traveloka dapat dipercaya
- Keluhan dan permasalahan pengguna situs Traveloka dapat teratasi

Attractive

Pada kategori Kano pengguna diketahui atribut 2 dan 19 merupakan atribut dengan kategori *Attractive* dimana kategori ini diartikan memiliki nilai tingkat kepuasan pengguna yang sangat tinggi apabila pelayanan dari atribut tersebut meningkat, akan tetapi penurunan pelayanan atribut tidak akan menyebabkan penurunan tingkat kepuasan. Sehingga dalam hal ini, pelayanan perlu sekali untuk ditingkatkan sehingga pengguna memiliki kepuasan tinggi pada saat menggunakan layanan booking hotel melalui Traveloka. Berikut atribut yang termasuk dalam kategori *Attractive* :

- Traveloka tidak melakukan kesalahan dalam input data
- Traveloka mudah dan cepat diakses oleh pengguna

Indifferent

Hasil pada Tabel 8 juga dapat dilihat bahwa atribut 15 dan 17 merupakan atribut dengan kategori *Indifferent* dimana kategori ini dapat diartikan tingkat kepuasan pengguna tidak akan dipengaruhi dari hasil pelayanan kinerja yang diberikan oleh Traveloka. Berikut atribut yang termasuk dalam kategori *Indifferent* :

- Traveloka memfasilitasi pengguna untuk menyampaikan saran dan keluhan
- Traveloka meninggalkan kesan yang baik pada pengguna

Berdasarkan manajemen Traveloka, kategori Kano pada atribut 2, 6, 7, 8, 12, 16 dan 18 merupakan kategori *Must be* dimana menurut manajemen Traveloka pelayanan yang rendah terhadap pelanggan dapat menurunkan kepuasan pelanggan dan atribut ini harus ditingkatkan walaupun kepuasan pelanggan tidak akan meningkat jauh di atas netral, meskipun atribut kinerja dari atribut tersebut tinggi.

Pada atribut 1, 3, 4, 9, 10, 11, 13, dan 19 merupakan kategori *One dimensional*, dimana menurut manajemen Traveloka atribut ini harus ditingkatkan agar kepuasan pengguna meningkat. Sebaliknya jika pelayanan dari atribut ini rendah maka kepuasan pelanggan juga akan rendah atau menurun. Kemudian atribut 5 dan 14 merupakan kategori *Attractive* dimana menurut manajemen Traveloka pelayanan pada atribut ini jika ditingkatkan maka kepuasan pengguna akan meningkat meskipun kepuasan pengguna tidak akan menurun jika pelayanan yang diberikan atas atribut ini kurang baik. Atribut terakhir pada kategori Kano ini yaitu pada atribut 15 dan 17 dimana atribut tersebut merupakan kategori *Indifferent*, dimana menurut manajemen Traveloka tingkat kepuasan pengguna tidak akan dipengaruhi dari hasil pelayanan kinerja yang diberikan oleh layanan booking hotel melalui Traveloka.

Dari Tabel 8 dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan dalam kategori Kano antara pengguna dan manajemen Traveloka. Kategori Kano yang sama antara pengguna dan manajemen Traveloka terdapat pada atribut 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 16, dan 17. Sedangkan atribut lainnya memiliki kategori Kano yang berbeda, hal ini membuktikan bahwa layanan booking hotel melalui Traveloka memerlukan beberapa peningkatan untuk memperbaiki kualitas layanan.

Kategori Kano berdasarkan pengguna dari yang terbanyak hingga yang paling sedikit adalah 10 butir kategori Kano *Must be*, 5 butir kategori Kano *One dimensional*, 2 butir kategori Kano *Attractive*, dan 2 butir kategori Kano *Indifferent*. Rata-rata kategori Kano yang berasal dari pengguna adalah *Must be*. Ini dapat membuktikan bahwa mayoritas tingkat kepuasan pengguna layanan booking hotel pada Traveloka bersifat wajib atau harus ada, sehingga jika pelayanan pada atribut rendah akan sangat mempengaruhi keluhan dari pengguna dan menyebabkan rendahnya kepuasan pengguna.

Hasil uji Kano pada manajemen Traveloka menunjukkan kategori Kano berdasarkan manajemen dari yang terbanyak hingga yang paling sedikit adalah 7 butir Kano *Must be*, 8 butir kategori Kano *One dimensional*, 2 butir kategori Kano *Attractive*, dan 2 butir kategori Kano *Indifferent*. Terdapat perbedaan preferensi antara pengguna dengan manajemen Traveloka. Perbedaan ini mengakibatkan beberapa kualitas layanan booking pada Traveloka kurang memuaskan pengguna, untuk itu diperlukan rekomendasi perbaikan atau alternatif perbaikan tiap atribut yang bersangkutan.

3. KESIMPULAN

Dari hasil pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan oleh peneliti pada layanan booking hotel *online* melalui Traveloka, dapat disimpulkan bahwa :

1. Secara keseluruhan, dimensi Servqual sangat berpengaruh terhadap kepuasan pengguna Traveloka berdasarkan nilai harapan dan kinerja.
2. Pengguna layanan booking hotel *online* melalui Traveloka sesuai dengan karakteristik terbanyak adalah perempuan, usia 20 tahun sampai dengan 30 tahun, dengan pendidikan terakhir S1 dan memiliki latar belakang pekerjaan sebagai pelajar atau mahasiswa.
3. Seluruh atribut pada hasil kuesioner menyatakan bahwa nilai gap score yang dihasilkan memiliki nilai negatif, sehingga hal ini membuktikan bahwa pelayanan yang diberikan oleh layanan booking hotel pada Traveloka kurang memuaskan dan belum sesuai dengan harapan pengguna.
4. Secara keseluruhan kualitas pelayanan yang diberikan oleh Traveloka dalam layanan booking hotel belum memenuhi harapan pengguna. Seluruh nilai kualitas pelayanan dari seluruh dimensi memiliki nilai rata-rata sebesar 0.92 sehingga dapat disimpulkan bahwa kualitas pelayanan yang diberikan layanan booking hotel melalui Traveloka terhadap pengguna masuk dalam kategori kurang baik.
5. Secara keseluruhan setidaknya terdapat setengah perbedaan preferensi antara pengguna dengan manajemen Traveloka, dimana dari kategori Kano sebanyak 19 terdapat 10 kesamaan preferensi. Hal ini dapat dilihat bahwa kualitas pelayanan booking hotel pada Traveloka masih dapat memenuhi setidaknya setengah dari apa yang diharapkan oleh pengguna.

Saran

1. Manajemen Traveloka sebaiknya memperhatikan kebutuhan apa yang diinginkan pengguna yang belum terpenuhi, dengan demikian permasalahan yang terjadi dapat teratasi dan kepuasan pengguna layanan booking hotel pada Traveloka akan meningkat.
2. Berdasarkan hasil penelitian, pihak manajemen sebaiknya membenahi atribut-atribut layanan yang memiliki kualitas layanan sesuai dengan urutan prioritas dari nilai kualitas terendah yaitu dimensi *Responsiveness*, *Empathy*, *Reliability*, *Assurance*, dan *Tangibles*

PUSTAKA

Alyusi, S. D. (2016). *Media Sosial: Interaksi, Identitas dan Media sosial*. Jakarta: Prenadamedia Group.

APJII. (2016). Penetrasi & Perilaku Pengguna Internet Indonesia.

<https://www.apjii.or.id/survei2016/download/QK6dv71ozYqpBNtGxuIPhbOa5Tfy0M>, (Diakses, n.d. 2016).

Hair JR, J.F., Black, W.C., Babin, B.J., & Anderson, R.E. (2010). *Multivariate Data Analysis.*, 7th edition. New Jersey : Pearson Prentice Hall

Kriyantono, R. (2009). *Teknik Praktis Riset Komunikasi*. Jakarta: Kencana Group.

- Nurudin. (2015). *Pengantar Komunikasi Massa*. Jakarta: Rajawali Pers. PT Rajagrafindo Persada.
- Rangkuti, F. (2006). *Measuring Customer Satisfaction*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Richard West, Lynn H. Turnr. (2008). *Pengantar Teori Komunikasi : Analisis dan Aplikasi* (Buku 2) (Edisi 3) Jakarta : Salemba Humanika.
- Sangadji, E. M. and Sopiah. (2013). *Perilaku Konsumen: Pendekatan Praktis Disertai Himpunan Jurnal Penelitian*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Suryanto. (2015). *Pengantar Ilmu Komunikasi*. Bandung: Pustaka Setia.
- Tjiptono, F. and Chandra, G. (2016). *Service, Quality dan Satisfaction*: Edisi 4. Yogyakarta: Andi Offset.
- Ujang, S. (2017). *Perilaku Konsumen: Teori dan Penerapannya dalam Pemasaran*. Bogor: ghalia Indonesia.
- Wijaya, T. (2011). *Manajemen Kualitas Jasa: Desain Servqual, QFD, dan Kano: Disertai Contoh Aplikasi dalam Kasus Penelitian*. Jakarta: PT Indeks.

OPTIMASI KUAT TEKAN PAVING BLOCK DENGAN METODE *RESPONSE SURFACE*

(Studi kasus : di UD. X)

Riky Yudha Pratama¹, Luh Juni Asrini^{*2}, Martinus Edy Sianto³

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

Jalan Kalijudan 37 Surabaya

Telp. (031) 3893933

*e-mail: juniasrini@ukwms.ac.id

ABSTRAK

Bata beton (*paving block*) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai optimum dari setiap faktor yang mempengaruhi kuat tekan *paving block* berdasarkan metode *response surface*. *Response surface* merupakan gabungan dari teknik matematika dan statistika yang digunakan dalam pemodelan dan analisis, serta variabel yang diamati dalam percobaan mempengaruhi respon. Pada penelitian ini faktor-faktor yang digunakan adalah jumlah pasir, jumlah semen, dan jumlah abu batu. Berdasarkan hasil penelitian dan pengolahan data diperoleh nilai optimum dari faktor-faktor yang mempengaruhi nilai kuat tekan *paving block* adalah semen (X_1) sebesar 1,94 kg, abu batu (X_2) sebesar 29,6 kg dan pasir (X_3) sebesar 2,2 kg. Nilai respon yang diperoleh adalah nilai kuat tekan optimum sebesar 392kg/cm².

Kata Kunci: *response surface*, *paving block*, optimasi kuat tekan

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bata beton (*paving block*) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu (SNI 03-0691-1996). Sejalan dengan perkembangan perindustrian di bidang transportasi dan tatanan pertamanan kota, industri *paving block* juga berpengaruh. Hal ini dapat dilihat dari penggunaan *paving block* yang semakin banyak digunakan sebagai pengganti aspal dengan keuntungan biaya perawatan *paving block* lebih murah dibandingkan dengan aspal. UD.X adalah salah satu produsen *paving block* dengan ukuran 21x10,5x6 cm dan berat ± 3 kg dan termasuk dalam *paving block* tipe A. UD.X memiliki kemampuan produksi sebanyak 2400 biji *paving block* per harinya. Bahan baku yang di gunakan UD. X dalam pembuatan *paving block* adalah pasir, abu batu, semen dan air.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Dewi (2011) menggunakan *full factorial design* untuk mengetahui pengaruh faktor-faktor dalam pembuatan *paving block* yaitu pasir, semen, dan abu batu terhadap besarnya kuat tekannya. Hasil penelitiannya menyatakan terdapat pengaruh yang signifikan antara faktor-faktor tersebut terhadap besarnya kuat tekan *paving block*. Akan tetapi dalam penelitian tersebut belum dinyatakan besarnya nilai-nilai faktor yang optimal untuk menghasilkan kuat tekan maksimal.

Penelitian ini dikembangkan untuk menyempurnakan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, yaitu untuk menentukan nilai optimal setiap faktor sehingga menghasilkan kuat tekan yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui model optimum antara faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan *paving block*. Penelitian ini dikembangkan menggunakan metode *response surface*. Metode *response surface* merupakan gabungan dari teknik matematika dan statistika yang digunakan dalam pemodelan dan analisis, serta variabel yang diamati dalam percobaan mempengaruhi respon. Metode *response surface* bertujuan untuk mengoptimalkan respon (Montgomery, 2009).

1.2 Tinjauan Pustaka

1.2.1. *Response Surface Methodology (RSM)*

Menurut metode permukaan respon atau yang biasa disebut sebagai *response surface methodology* merupakan suatu teknik gabungan antara matematika dan statistika dimana digunakan untuk membuat model dan menganalisa suatu respon yang di lambangkan dengan (y) yang dipengaruhi oleh beberapa variabel bebas atau faktor yang dilambangkan dengan (x) untuk mengoptimalkan respon (Montgomery, 2009:478).

Menurut Montgomery (2009 :487-488) Ketika kita ingin mendapatkan nilai x_1, x_2, \dots, x_k dengan pengoptimalan respon yang telah diprediksi. Jika terdapat nilai-nilai yang optimal, maka y pada persamaan

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i^2 + \sum_{i < j} \sum \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \quad (1)$$

merupakan suatu himpunan yang beranggotakan x_1, x_2, \dots, x_k sehingga dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$Y = \beta_0 + \mathbf{x} \cdot \mathbf{b} + \mathbf{x} \cdot \mathbf{B} \mathbf{x} \quad (2)$$

dari persamaan yang terdapat di atas kita dapat menyusun matriks \mathbf{b} dan \mathbf{B} sebagai berikut :

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \beta_{11}, \frac{\beta_{12}}{2}, \dots, \frac{\beta_{1k}}{2} \\ \beta_{22}, \dots, \frac{\beta_{2k}}{2} \\ \vdots \\ \beta_{kk} \end{bmatrix}$$

dimana \mathbf{b} adalah koefisien regresi orde 1 berukuran $(k \times 1)$, untuk \mathbf{B} merupakan matriks ordo $k \times k$ dimana diagonal utamanya merupakan koefisien kuadratik murni dari orde ke2 dan elemen lainnya adalah setengah dari koefisien interaksi $\hat{\beta}_{ij}$, $i \neq j$. Untuk mendapatkan titik stationer dari orde ke2 dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\mathbf{x}_s = -\frac{1}{2} \mathbf{B}^{-1} \mathbf{b} \quad (3)$$

dimana $\mathbf{X}_s = (X_{1,0}, X_{2,0}, \dots, X_{k,0})$

Dari kedua persamaan diatas dapat disubstitusikan sehingga menghasilkan satu rumusan berdasarkan nilai dugaan respon pada titik stationer, sebagai berikut :

$$y_s = \beta_0 + \frac{1}{2} \mathbf{x}_s \cdot \mathbf{b} \quad (4)$$

Nilai optimal yang diperoleh dari variabel asli yang didapatkan dari titik-titik stationer adalah :

$$X_{i,s} = \Delta_i X_{i,s} + \epsilon_i \quad (5)$$

dimana :

$X_{i,s}$ = nilai titik stationer pada faktor-i

Δ_i = selisih level pada faktor-i

ϵ_i = nilai titik pusat pada faktor-i

1.2.2. Definisi dan Syarat Mutu *Paving block* (SNI 03-0691-1996)

Bata beton (*paving block*) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen *Portland* atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu. Berikut syarat mutu dari *paving block*:

a) Sifat Tampak

Paving block harus mempunyai permukaan yang rata, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah direpahkan dengan kekuatan jari tangan.

b) Ukuran

Paving block harus mempunyai ukuran tebal minimum 60 mm dengan toleransi +8%.

c) Sifat Fisika

Bata beton harus mempunyai sifat-sifat fisika seperti pada tabel 1 berikut:

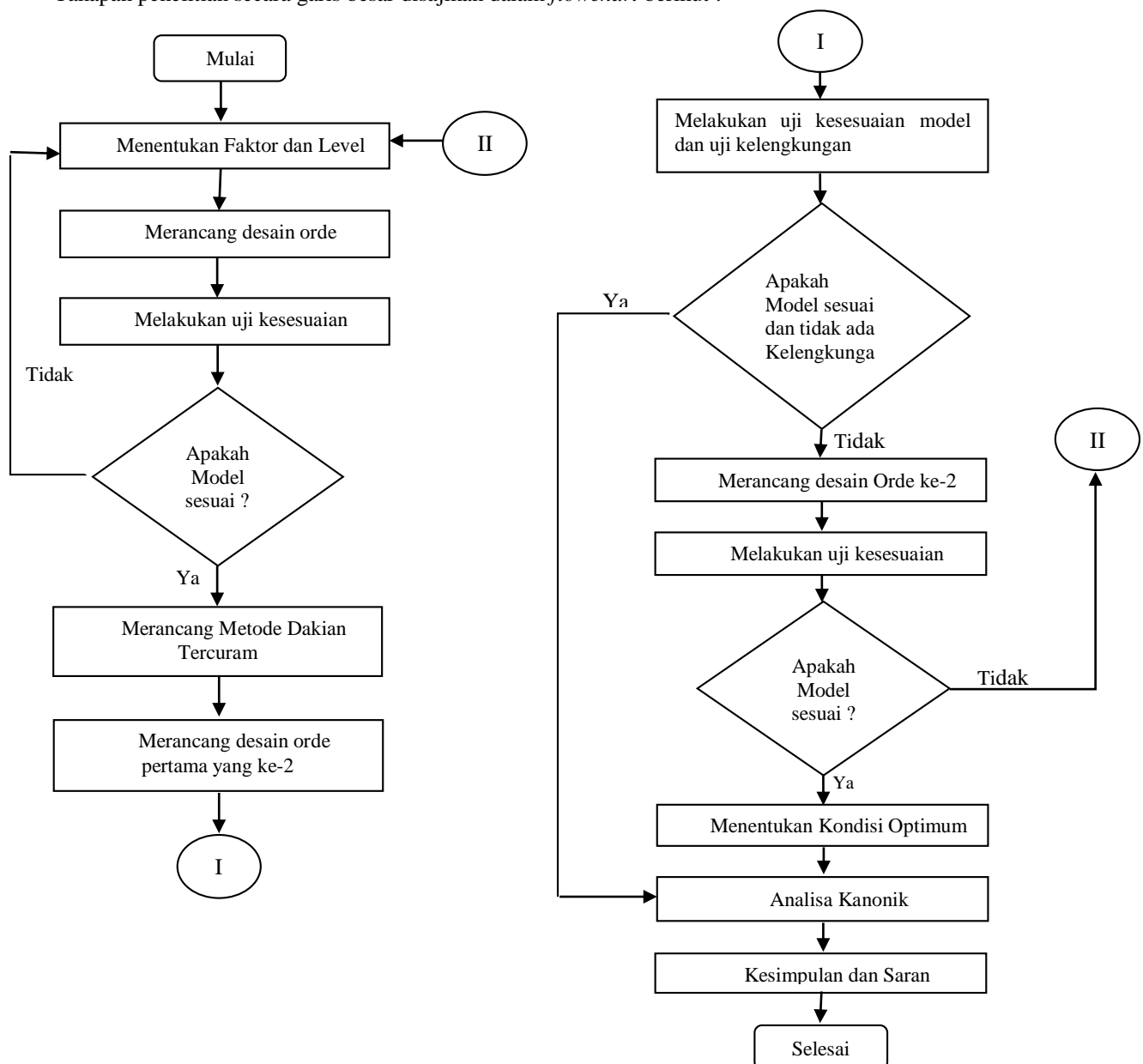
Tabel 1. Sifat-sifat Fisika *Paving block*

Mutu	Kuat Tekan (Mpa)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan Air rata-rata maks (%)
	Rata-rata	Min	Rata-rata	Min	
A	40	35	0,090	0,103	3
B	20	17	0,130	0,149	6
C	15	12,5	0,160	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

1.3 Metodologi Penelitian

1.3.1 Flowchart Penelitian

Tahapan penelitian secara garis besar disajikan dalam *flowchart* berikut :



Gambar 1. Flowchart Penelitian

1.3.2. Variabel Penelitian

Variabel bebas/faktor penelitian ini adalah komposisi pasir, semen, dan abu batu. Level variabel bebas dalam rancangan model orde 1 dapat dilihat pada Tabel 2. Level tersebut digunakan untuk membuat satu adonan dan dalam satuan kg.

Tabel 2. Level Variabel Bebas Rancangan Model Orde I

Variabel Bebas	Level		
	-1	0	1
Semen (X_1)	2	2,25	2,5
Abu Batu (X_2)	28	28,25	28,5
Pasir (X_3)	3	3,25	3,5

Variabel tetap/faktor tetap dalam penelitian ini adalah komposisi air untuk membuat 1 adonan, air yang digunakan secukupnya dengan parameter apabila bahan baku sudah bisa dikepal maka air yang ditambahkan sudah cukup. Proses pengeringan *paving block* yaitu selama 28 hari. Variabel respon dalam penelitian yaitu nilai kuat tekan pada setiap *paving block*. Pengujian kuat tekan dilakukan di laboratorium beton dan bangunan ITS, Surabaya.

2. PEMBAHASAN

2.1 Perancangan Permukaan Respon Orde Pertama

Rancangan permukaan respon orde pertama yang digunakan merupakan rancangan faktorial 2^3 , dan diperoleh 8 *run* dengan pengulangan sebanyak 6 kali pada titik pusat. Pada perhitungan level dari setiap faktor akan dilakukan pengkodean yang bertujuan untuk mempermudah dalam proses penghitungan. Kode yang digunakan yaitu 1, -1, dan 0. Pengkodean dilakukan dari nilai minimum, nilai maksimum, dan nilai tengah untuk setiap faktor semen (X_1), abu batu (X_2), dan pasir (X_3). Hasil rancangan dari permukaan respon orde pertama dan kombinasi dari setiap level yang telah dikodekan serta nilai dari level yang dikodekan atau variabel asli dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil Rancangan Permukaan Respon Orde pertama

No	Variabel Kode			Variabel Asli			Kuat Tekan (Kg/Cm ²)
	X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3	
1	-1	-1	-1	2	28	3	253.1
2	1	-1	-1	2,5	28	3	221.2
3	-1	1	-1	2	28,5	3	317.1
4	1	1	-1	2,5	28,5	3	252.7
5	-1	-1	1	2	28	3,5	316.8
6	1	-1	1	2,5	28	3,5	256.9
7	-1	1	1	2	28,5	3,5	217.5
8	1	1	1	2,5	28,5	3,5	321.0
9	0	0	0	2,25	28,25	3,25	242.7
10	0	0	0	2,25	28,25	3,25	222.9
11	0	0	0	2,25	28,25	3,25	235.8
12	0	0	0	2,25	28,25	3,25	236.1
13	0	0	0	2,25	28,25	3,25	236.3
14	0	0	0	2,25	28,25	3,25	240.6

Berdasarkan data yang telah diperoleh dari rancangan permukaan respon orde pertama pada Tabel 3 kemudian diperoleh model regresi orde pertama sebagai berikut :

$$Y = 249,56 - 7,3X_1 + 31,1X_2 - 27X_3 \quad (6)$$

2.2 Uji Kesesuaian Model

Uji kesesuaian model dilakukan untuk mengetahui apakah model orde pertama sudah sesuai untuk menjelaskan hasil daripada penelitian, dengan hipotesis sebagai berikut :

H_0 : model regresi cocok (tidak ada *lack of fit*)

H_1 : model regresi tidak cocok (ada *lack of fit*)

Tabel 4. Hasil Analisis Varian Model Orde pertama

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F	P
Regresi	3	9430,7	3143,6	4,12	0,038
Linier	3	9430,7	3143,6	4,12	0,038
Semen	1	379,8	379,8	0,50	0,496
Abu batu	1	6894,7	6894,7	9,04	0,013
Pasir	1	5051,5	5051,5	6,62	0,028
Error	10	7626,7	762,7		
Lack of Fit	4	2429,3	607,3	0,70	0,619
Pure Error	6	5197,5	866,2		
Total	13	17057,4			

Berdasarkan perhitungan analisis varian model orde pertama pada tabel 4, didapatkan nilai *p-value lack of fit* sebesar 0,619. Nilai yang didapat tersebut lebih besar dari nilai tingkat signifikan sehingga gagal tolak H_0 . Dapat disimpulkan bahwa model orde pertama sesuai atau tidak ada *lack of fit*. Berdasarkan hasil tersebut model regresi dapat digunakan untuk menentukan dakian tercuram.

2.3 Metode Dakian Tercuram

Berdasarkan model regresi orde pertama yang telah didapat tersebut akan digunakan untuk menentukan lintasan dakian tercuram. Koefisien regresi untuk model orde pertama adalah $b_1 = (-7,3)$, $b_2 = 31,1$ dan $b_3 = (-27)$. Untuk mendapatkan arah respon yang maksimum, lintasan yang harus ditempuh yaitu dakian tercuram dengan titik pusat percobaan ($X_1 = 0$, $X_2 = 0$, dan $X_3 = 0$) sebagai lintasan basisnya. Setelah dilakukan perhitungan ukuran langkah yang akan digunakan, maka diperoleh semen sebesar $(-0,05)$, abu batu 0,25 dan pasir $(-0,225)$. Percobaan akan dilakukan di sepanjang lintasan dakian tercuram sampai tidak terjadi peningkatan respon yang diamati. Hasil percobaan dakian tercuram dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Hasil Percobaan Dakian Tercuram

Langkah	Variabel Kode			Variabel Bebas			Kuat Tekan (Kg/Cm ²)
	X ₁	X ₂	X ₃	φ_1	φ_2	$\Delta\varphi_3$	
Basis	0	0	0	2,25	28,25	3,25	-
Δ	(-0,2)	1	(-0,9)	(-0,05)	0,25	(-0,225)	-
Basis+ Δ	(-0,2)	1	(-0,9)	2,2	28,5	3,03	315,35
Basis+2 Δ	(-0,4)	2	(-1,8)	2,15	28,75	2,8	355,73
Basis+3 Δ	(-0,6)	3	(-2,7)	2,1	29	2,58	380,73
Basis+4 Δ	(-0,8)	4	(-3,6)	2,05	29,25	2,35	388,42
Basis+5Δ	(-1)	5	(-4,5)	2	29,5	2,13	391,31
Basis+6 Δ	(-1,2)	6	(-5,4)	1,95	29,75	1,9	386,02
Basis+7 Δ	(-1,4)	7	(-6,3)	1,9	30	1,68	379,77

Berdasarkan hasil percobaan dakian tercuram yang telah dilakukan pada Tabel 5 diperoleh daerah respon maksimal berada di sekitar titik $X_1 = (-1)$, $X_2 = 5$, dan $X_3 = (-4,5)$ bersesuaian dengan variabel asli yaitu komposisi semen 2 Kg, abu batu 29,5 Kg, dan pasir 2,13Kg. Setelah titik daerah respon maksimal dari dakian tercuram diperoleh maka titik-titik tersebut akan digunakan untuk sebagai titik pusat rancangan permukaan respon orde pertama yang ke 2.

2.4 Perancangan Permukaan Respon Orde Pertama yang Kedua

Setelah diperoleh titik respon maksimal dari percobaan dakian tercuram, maka langkah selanjutnya yaitu merancang permukaan respon orde pertama yang kedua. Titik-titik pusat yang digunakan untuk merancang permukaan respon orde pertama yang kedua menggunakan hasil dari respon maksimal yang diperoleh dari metode

dakian tercuram yaitu $X_1 = 2$, $X_2 = 29,5$, dan $X_3 = 2,13$. Titik lainnya dalam bentuk variabel kode diberikan pada tabel 6 berikut.

Tabel 6. Kode Level Orde Pertama yang Kedua

Variabel Bebas	Level		
	-1	0	1
Semen (X_1)	1,75	2	2,25
Abu Batu (X_2)	29,25	29,5	29,75
Pasir (X_3)	1,88	2,13	2,38

Hasil rancangan dari permukaan respon orde pertama yang kedua dan kombinasi dari setiap level yang telah dikodekan serta nilai dari level yang dikodekan atau variabel asli dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Hasil Rancangan Permukaan Respon Orde Pertama yang Kedua

No	Variabel Kode			Variabel Asli			Kuat Tekan (Kg/Cm ²)
	X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3	
1	-1	-1	-1	1,75	29,25	1,88	349,92
2	1	-1	-1	2,25	29,25	1,88	350,21
3	-1	1	-1	1,75	29,75	1,88	373,52
4	1	1	-1	2,25	29,75	1,88	359,39
5	-1	-1	1	1,75	29,25	2,38	364,01
6	1	-1	1	2,25	29,25	2,38	370,01
7	-1	1	1	1,75	29,75	2,38	371,46
8	1	1	1	2,25	29,75	2,38	373,24
9	0	0	0	2	29,5	2,13	380,49
10	0	0	0	2	29,5	2,13	390,54
11	0	0	0	2	29,5	2,13	391,02
12	0	0	0	2	29,5	2,13	391,98
13	0	0	0	2	29,5	2,13	392,51
14	0	0	0	2	29,5	2,13	391,70

Berdasarkan nilai kuat tekan dari rancangan permukaan respon orde pertama yang kedua, didapatkan model regresi orde pertama yang kedua sebagai berikut:

$$Y = 389,71 - 0,76X_1 + 5,43X_2 + 5,71X_3 \quad (7)$$

2.5 Uji Kesesuaian Model dan Kelengkungan

Tabel 8. Hasil Analisis Varian Model Orde Pertama yang Kedua

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F	P
Model	4	2772,75	693,19	22,52	0,000
Linier	3	501,36	167,12	5,36	0,022
Semen	1	4,59	4,59	0,15	0,710
Abu batu	1	236,07	236,07	7,58	0,022
Pasir	1	260,71	260,71	8,37	0,018
Kelengkungan	1	2271,39	2271,39	72,91	0,000
Error	9	280,40	31,16		
Lack of Fit	4	176,09	44,02	2,11	0,217
Pure Error	5	104,31	20,86		
Total	13	3053,15			

Berdasarkan perhitungan varian pada model orde pertama yang kedua didapatkan nilai *p-value lack of fit* sebesar 0,217. Nilai yang didapat tersebut lebih besar dari nilai tingkat signifikan sehingga gagal tolak H_0 . Dapat disimpulkan bahwa model orde pertama sesuai atau tidak ada *lack of fit*. Sedangkan nilai *p-value* untuk kelengkungan yang diperoleh sebesar 0,000 dimana nilainya sangat kecil dan nilai tersebut lebih kecil dari tingkat nilai signifikansi (α) sebesar 0,05 sehingga dapat disimpulkan tolak H_0 . Artinya model orde pertama yang kedua

terdapat kelengkungan dalam modelnya, jika terdapat kelengkungan maka percobaan harus dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu model orde kedua untuk menduga model orde yang lebih tinggi.

2.6 Rancangan Permukaan Respon Orde Kedua

Dalam tahap ini menggunakan rancangan komposit pusat dimana titik pusat pada rancangan komposit pusat adalah titik pusat pada rancangan model orde pertama yang kedua. Rancangan ini dibentuk berdasarkan rancangan model dari orde pertama yang kedua dengan penambahan 2K titik pengamatan. Dimana K merupakan jumlah faktor dalam penelitian sehingga didapatkan nilai K dalam penelitian ini sebanyak 3, maka dengan demikian harus ditambahkan 6 titik pengamatan pada pusat dengan $\alpha = (2^k)^{1/4} = 1,681$. Titik pusat dalam bentuk variabel asli adalah $X_1 = 2 \text{ Kg}$, $X_2 = 29,5 \text{ Kg}$, dan $X_3 = 2,13 \text{ Kg}$ dan untuk titik lainnya dalam bentuk variabel kode diberikan pada tabel 9 berikut :

Tabel 9. Kode Level Orde Kedua

Variabel Bebas	Level				
	-1,681	-1	0	1	1,681
Semen (X_1)	1,57	1,75	2	2,25	2,42
Abu Batu (X_2)	29,07	29,25	29,5	29,75	29,92
Pasir (X_3)	1,70	1,88	2,13	2,38	2,55

Hasil rancangan dari permukaan respon orde kedua dan kombinasi dari setiap level yang telah dikodekan serta nilai dari level yang dikodekan atau variabel asli dapat dilihat pada Tabel 10 berikut.

Tabel 10. Hasil Rancangan Permukaan Respon Orde Kedua

No	Variabel Kode			Variabel Asli			Kuat Tekan (Kg/Cm ²)
	X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3	
1	-1	-1	-1	1,75	29,25	1,88	350.02
2	1	-1	-1	2,25	29,25	1,88	350.50
3	-1	1	-1	1,75	29,75	1,88	374.53
4	1	1	-1	2,25	29,75	1,88	360.50
5	-1	-1	1	1,75	29,25	2,38	365.74
6	1	-1	1	2,25	29,25	2,38	370.25
7	-1	1	1	1,75	29,75	2,38	371.99
8	1	1	1	2,25	29,75	2,38	373.72
9	0	0	0	2	29,5	2,13	380.25
10	0	0	0	2	29,5	2,13	390.49
11	0	0	0	2	29,5	2,13	391.31
12	0	0	0	2	29,5	2,13	391.31
13	0	0	0	2	29,5	2,13	392.70
14	0	0	0	2	29,5	2,13	392.80
15	1.681	0	0	2,42	29,5	2,13	341.51
16	0	1.681	0	2	29,92	2,13	378.33
17	0	0	1.681	2	29,5	2,55	376.70
18	-1.681	0	0	1,57	29,5	2,13	379.00
19	0	-1.681	0	2	29,07	2,13	363.57
20	0	0	-1.681	2	29,5	1,70	360.02

Berdasarkan nilai kuat tekan dari rancangan permukaan respon orde dua, didapatkan model regresi orde dua sebagai berikut:

$$Y = 389,83 - 5,15 X_1 + 5,06 X_2 + 5,43 X_3 - 10,55 X_1^2 - 6,77 X_2^2 - 7,68 X_3^2 \quad (8)$$

2.7 Uji Kesesuaian Model

Uji kesesuaian model dilakukan untuk mengetahui apakah model orde kedua sudah sesuai untuk menjelaskan hasil daripada penelitian, dengan hipotesis sebagai berikut :

H_0 : model regresi cocok (tidak ada *lack of fit*)

H_1 : model regresi tidak cocok (ada *lack of fit*)

Berdasarkan hasil pengolahan data yang telah dilakukan, didapatkan hasil analisis varian model orde dua yang dapat dilihat pada Tabel 11 berikut ini.

Tabel 11. Hasil Analisis Varian Model Orde kedua

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F	P
Regresi	9	3905,87	433,99	8,95	0,001
Error	10	485,11	48,51		
Lack of Fit	5	371,49	74,30	3,27	0,110
Pure Error	5	113,61	22,72		
Total	19	4390,98			

Berdasarkan perhitungan varian pada model orde kedua terdapat pada Tabel 11 didapatkan nilai *p-value lack of fit* sebesar 0,110. Nilai yang didapat tersebut lebih besar dari nilai tingkat signifikan sehingga gagal tolak H_0 . Dapat disimpulkan bahwa model orde pertama sesuai atau tidak ada *lack of fit*.

2.8 Kondisi Optimum Pada Model Orde Kedua

Model regresi orde kedua yang diperoleh adalah sebagai berikut

$$Y = 389,83 - 5,15 X_1 + 5,06 X_2 + 5,43 X_3 - 10,55 X_1^2 - 6,77 X_2^2 - 7,68 X_3^2 - 2,16 X_1 X_2 + 2,48 X_1 X_3 - 3,10 X_2 X_3$$

Untuk mendapatkan titik stationer dari orde dua dapat ditentukan dengan menggunakan rumus pada persamaan (3) sebagai berikut:

$$\mathbf{x}_s = \begin{bmatrix} -0,25259 \\ 0,358991 \\ 0,24029 \end{bmatrix}$$

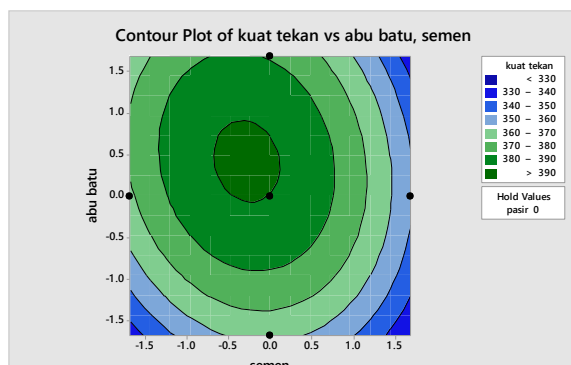
Sehingga titik-titik *stationer* pada model orde kedua dalam bentuk variabel kode adalah : $X_{1,s} = -0,25259$; $X_{2,s} = 0,358991$; $X_{3,s} = 0,24029$. Nilai dugaan respon pada titik stationer berdasarkan persamaan (4) adalah sebagai berikut :

$$y_s = 392,041054 \approx 392 \text{ Kg / Cm}^2$$

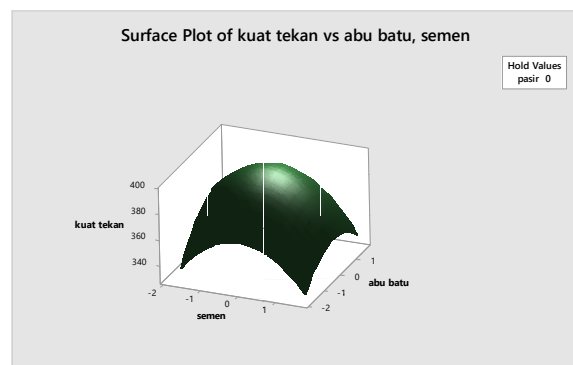
Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan metode *response surface* didapatkan nilai sesungguhnya dari variabel-variabel independen yang menghasilkan respon optimum terhadap kuat tekan *paving block* dengan komposisi semen (X_1) sebesar 1,94 Kg, abu batu (X_2) sebesar 29,6 Kg dan pasir (X_3) sebesar 2,2 Kg dengan nilai kuat tekan optimum sebesar 392Kg/Cm².

2.9 Analisa Permukaan Respon

Berdasarkan model orde kedua yang telah diperoleh, maka dapat dibentuk tiga *contour plot* dan *surface plot* karena terdapat tiga variabel bebas yang mempengaruhi respon.



Gambar 2.1 Contour Plot Faktor Abu batu dan Semen terhadap Respon Kuat Tekan

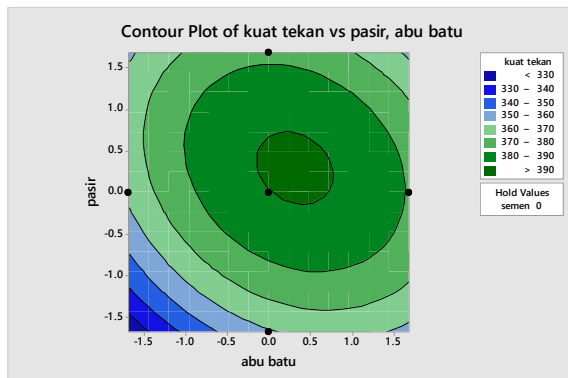


Gambar 2.2 Surface Plot Faktor Abu batu dan Semen terhadap Respon Kuat Tekan

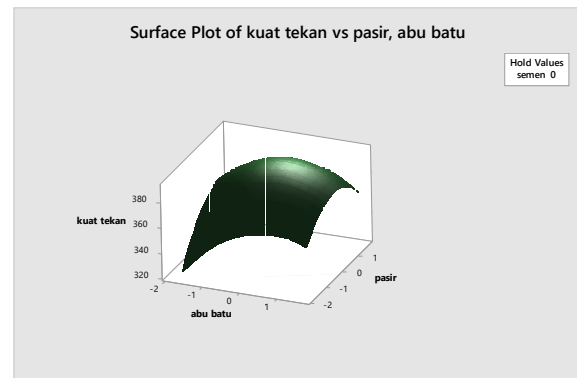
Dari *surface plot* yang telah diperoleh seperti pada Gambar 2.2 dapat dilihat bahwa *surface plot* berbentuk parabola dimana nilai titik optimum dari kuat tekan berada di puncak parabola, sedangkan semakin ke bawah atau

melebar maka nilai kuat tekan akan semakin menurun. Untuk melihat lebih jelas nilai titik optimum akan digambarkan pada *contour plot*.

Contour plot menggambarkan garis-garis yang menunjukkan nilai respon dari nilai minimum hingga nilai maksimum. Seperti dapat dilihat hasil *contour plot* pada Gambar 2.1 menunjukkan hubungan antara faktor Abu batu dan semen terhadap kuat tekan. Kuat tekan dengan nilai 392Kg/Cm² dapat dicapai dari titik -0,25 sampai dengan 0,1 untuk X_1 , pada kondisi sebenarnya semakin melebar titik respon yaitu apabila kearah kiri dan kanan maka akan terjadi penurunan nilai kuat tekan. Sedangkan kuat tekan maksimum untuk faktor X_2 dapat dicapai dari titik 0,35 sampai dengan 0,9 sama halnya dengan X_1 semakin melebar titik respon yaitu kearah kiri dan kanan maka akan terjadi penurunan nilai kuat tekan.



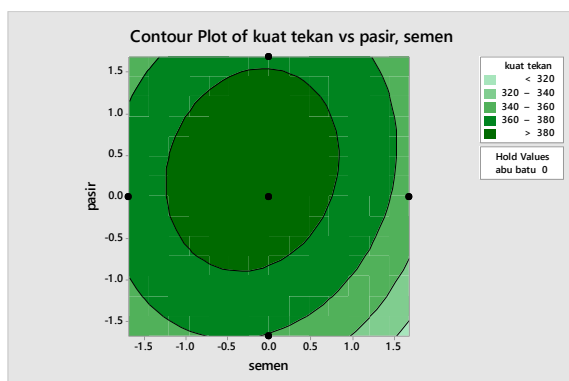
Gambar 3.1 *Contour Plot* Faktor Pasir dan Abu batu terhadap Respon Kuat Tekan



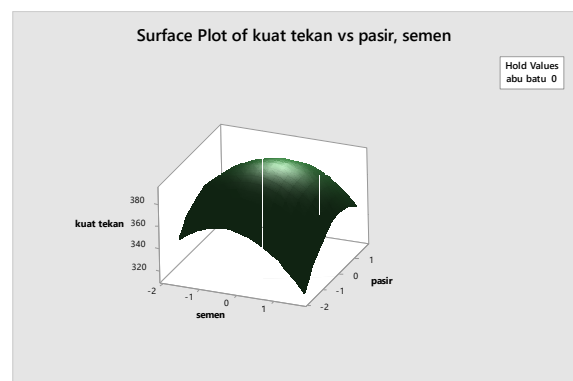
Gambar 3.2 *Surface Plot* Faktor Pasir dan Abu batu terhadap Respon Kuat Tekan

Dari *surface plot* yang telah diperoleh seperti pada Gambar 3.2 yaitu *surface plot* faktor pasir dan abu batu terhadap respon kuat tekan dapat dilihat bahwa *surface plot* berbentuk parabola dimana nilai titik optimum dari kuat tekan berada di puncak parabola, sedangkan semakin ke bawah atau melebar maka nilai kuat tekan akan semakin menurun. Untuk melihat lebih jelas nilai titik optimum akan digambarkan pada *contour plot* di bawah ini.

Seperti dapat dilihat hasil *Contour plot* pada Gambar 3.1 menunjukkan hubungan antara faktor pasir dan Abu batu terhadap kuat tekan. Kuat tekan dengan nilai 392Kg/Cm² dapat dicapai dari titik 0,24 sampai dengan 0,6 untuk X_3 , semakin melebar titik respon yaitu apabila kearah kiri dan kanan maka akan terjadi penurunan nilai kuat tekan. Sedangkan kuat tekan maksimum untuk faktor X_2 dapat dicapai dari titik 0,35 sampai dengan 0,7 sama halnya dengan X_3 semakin melebar titik respon yaitu kearah kiri dan kanan maka akan terjadi penurunan nilai kuat tekan.



Gambar 4.1 *Contour Plot* Faktor Pasir dan Semen terhadap Respon Kuat Tekan



Gambar 4.2 *Surface Plot* Faktor Pasir dan Semen terhadap Respon Kuat Tekan

Dari *surface plot* yang telah diperoleh seperti pada Gambar 4.2 yaitu *surface plot* faktor pasir dan abu batu terhadap respon kuat tekan dapat dilihat bahwa *surface plot* juga berbentuk parabola dimana nilai titik optimum dari kuat tekan berada di puncak parabola, sedangkan semakin ke bawah atau melebar maka nilai kuat tekan akan semakin menurun. Untuk melihat lebih jelas nilai titik optimum akan digambarkan pada *contour plot* di bawah ini.

Seperti dapat dilihat hasil *contour plot* pada Gambar 4.1 menunjukkan hubungan antara faktor pasir dan semen terhadap kuat tekan. Kuat tekan dengan nilai 392Kg/Cm² dapat dicapai dari titik 0,24 sampai dengan 0,6 untuk

X_3 , semakin melebar titik respon yaitu apabila kearah kiri dan kanan maka akan terjadi penurunan nilai kuat tekan. sedangkan kuat tekan maksimum untuk faktor X_1 dapat dicapai dari titik -0,25 sampai dengan 0,1 sama halnya dengan X_3 semakin melebar titik respon yaitu kearah kiri dan kanan maka akan terjadi penurunan nilai kuat tekan.

Surface plot menggambarkan nilai variabel atau faktor bebas dalam bentuk dua dimensi dan berada pada sumbu mendatar yang tegak lurus dengan respon. Ketiga *surface plot* yang telah di peroleh seperti pada Gambar 5.1, Gambar 5.3 dan Gambar 5.5 semua berbentuk parabola, dimana artinya *surface plot* tersebut merupakan plot dari titik-titik respon maksimum. Berdasarkan *contour plot* dan *surface plot* yang telah diperoleh dapat pula diketahui bahwa titik stationer $X_{1,s} = -0,25259$; $X_{2,s} = 0,358991$; $X_{3,s} = 0,24029$ masih berada dalam wilayah percobaan dan merupakan titik dari respon maksimum yang diperoleh. Level-level pada titik stationer yang telah diperoleh bersesuaian dengan komposisi semen sebesar 1,94 Kg, abu batu sebesar 29,6 Kg, dan pasir sebesar 2,2 Kg dengan level- level tersebut dapat diperoleh nilai kuat tekan maksimum yaitu sebesar 392Kg/Cm². Nilai kuat tekan yang diperoleh tersebut juga telah memenuhi syarat standar SNI 03-0691-1996 untuk *paving block* dengan mutu A.

3. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil perhitungan dan pengolahan data, dapat ditarik kesimpulan yaitu :

1. Berdasarkan hasil analisa dengan menggunakan metode *response surface* didapatkan nilai level dan respon optimum dari faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan *paving block* yaitu, semen(X_1) sebesar 1,94 Kg, abu batu (X_2) sebesar 29,6 Kg dan pasir (X_3) sebesar 2,2 Kg dan air sebanyak ± 3 liter diperoleh nilai kuat tekan optimum sebesar 392Kg/Cm².
2. Berdasarkan hasil dari analisa menggunakan metode *response surface* didapatkan model optimum antara faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan *paving block* sebagai berikut :
$$Y = 389,83 - 5,15 X_1 + 5,06 X_2 + 5,43 X_3 - 10,55 X_1^2 - 6,77 X_2^2 - 7,68 X_3^2 - 2,16 X_1 X_2 + 2,48 X_1 X_3 - 3,10 X_2 X_3$$

PUSTAKA

- Dewi, Lydea Trinovianty. 2011. *Penentuan Kombinasi Komposisi Paving dengan Menggunakan Metode Full Faktorial Design*.
- Montgomery, D., C. 2013. *Design and Analysis of Experiments*. Singapore: Jhon Wiley & Sons.
- Nugroho, Amsal Dwi. 2016. *Optimalisasi Faktor-Faktor yang Berpengaruh Pada Beban Lentur Genteng Beton Dengan Metode Response Surface*.

Penerapan Metode Substitusi METRIS Pada Fisika Pemuaian Dengan Temperatur Dinamis Sekitar Nilai Tertentu

Stephanus Ivan Goenawan

Program Studi Teknik Industri, Universitas Katolik Atma Jaya

Jl. Jend. Sudirman 51 Jakarta 12930

E-mail: steph.goenawa@atmajaya.ac.id

ABSTRAK

Metode Horizontal (Metris) dapat memberikan Solusi efektif dan efisien pada kasus perhitungan dengan variabel dinamis sekitar nilai tertentu. Solusi berupa formula efektif pada penelitian pemuaian logam ini menggunakan metode perubahan temperatur dekati nol celsius dan metode substitusi metris. Perhitungan perubahan panjang pemuaian logam dinamis akan muncul dari capaian suhu akhir yang berubah sekitar nilai tertentu. Perhitungan ini menggunakan formula metris yang lebih efektif dan efisien karena tidak perlu selalu diulang dari awal dibandingkan bila masih menggunakan cara konvensional. The Horizontal Method (Metris) can provide an effective and efficient solution in cases with dynamic variables around a certain value. The formula used in this expansion of metal research using the method of temperature alteration of approaching zero celcius and the method of metris substitution. The calculation of changes in the length of metal of the dynamic expansion will come up from the end achievements of temperature that changes around a certain value. This calculation uses a metris formula that is more effective and efficient because it does not need to always be repeated from the beginning than if still using a conventional way.

Kata Kunci: metode horisontal, metris, expansion metal, substitution.

1. PENDAHULUAN

Dalam bidang pengajaran atau percobaan yang mempunyai variabel dinamis seperti pada fisika pemuaian logam dengan temperatur dinamis maka formulanya perlu menggunakan bantuan simbol huruf. Sebagai syarat untuk memahami operasi perhitungan menggunakan simbol huruf maka kemampuan siswa dalam bidang Aljabar telah harus dikuasainya. Pada Fisika pemuaian logam dengan temperatur dinamis ini, perubahannya akan didekati secara linear pada kondisi perubahan temperatur yang mendekati nol derajat celsius. Untuk menyelesaikan kasus pendekatan linear ini dapat digunakan Metode Substitusi.

Pada kasus perhitungan formula fisika pemuaian logam dengan suhu dinamis sekitar nilai tertentu bila dilakukan secara konvensional maka solusi penyelesaian hitung selalu berulang kali dilakukan dari awal lagi. Solusi perhitungan agar lebih efisien tidak perlu selalu dihitung dari awal lagi maka digunakan bantuan Metode Horizontal (Metris). Secara spesifik pemecahan yang akan dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode substitusi metris. Metode substitusi metris dalam perhitungannya akan menggunakan bantuan notasi pagar (!) sebagai simbol bantu guna menandai nilai tempat suatu bilangan (Goenawan, 2012, 2013).

Metode Substitusi Metris ini akan dimanfaatkan sebagai metode pembelajaran pendidikan fisika guna menyelesaikan secara lebih efektif dan efisien kasus dalam bidang fisika pemuaian logam dengan suhu akhir sekitar nilai tertentu. Data yang dibutuhkan untuk mencari nilai besarnya panjang pemuaian logam adalah panjang logam awal, suhu awal dan akhir logam serta besarnya nilai koefisien muai panjang logam tersebut. Besarnya nilai koefisien muai panjang logam dapat diperoleh melalui pengukuran pemuaian logam pada kenaikan suhu tertentu melalui pendekatan kenaikan perubahan suhu mendekati nol derajat celsius.

Permasalahan yang muncul dan yang akan coba diatasi dalam penelitian ini adalah bagaimana pemecahan formula akhir yang paling efektif dan efisien guna mencari berapa besar perubahan pemuaian panjang logam, apabila pengukuran suhu akhir logam tersebut bergerak dinamis sekitar nilai tertentu. Apabila formula tersebut dicari dengan perhitungan konvensional maka setiap kali suhu akhir berubah pada sekitar nilai tertentu perlu dilakukan perhitungan dari awal kembali. Berbeda halnya bila formula yang dihasilkan menggunakan bantuan metode substitusi metris, karena perhitungan yang dimulai dari awal kembali tidak perlu terjadi, sehingga formula metris pemuaian logam ini akan lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan formula konvensional.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini metode penelitian yang digunakan adalah menggabungkan ketiga metode yaitu metode perubahan temperatur dekati nol celsius, metode horizontal dan metode substitusi metris. Pada metode perubahan temperatur dekati nol, penyelesaiannya dengan bantuan kalkulus, mula-mula sebuah logam dengan panjang awal tertentu dipanaskan secara bertahap. Pemanasan tahap pertama untuk menentukan besarnya panjang pemuaian logam pada suhu yang telah ditentukan. Selanjutnya pada pemanasan tahap kedua pada suhu sekitar nilai tertentu

dilakukan prediksi pendekatan dan pengukuran panjang pemuaian logam. Sedangkan untuk melakukan perhitungan prediksi yang efektif dan efisien agar tidak perlu selalu diulang dari awal lagi maka pada perubahan suhu sekitar nilai tertentu digunakan bantuan metode horisontal dan metode substitusi metris.

2.1 METODE PERUBAHAN TEMPERATUR DEKATI NOL

Dalam pengukuran kasus pemuaian logam ini menggunakan teknik perhitungan dimana perubahan suhu dapat dicacah sedemikian kecil hingga mendekati nol. Metode perhitungan perubahan temperatur mendekati nol ini akan diselesaikan menggunakan matematika kalkulus. Simbol penulisan perubahan suhu mendekati nol adalah $\Delta T \rightarrow 0$ dimana dalam kalkulus disimbolkan sebagai ∂T . Apabila perubahan suhu mendekati nol maka perubahan panjang juga mendekati nol, $\Delta L \rightarrow 0$ yang disimbolkan sebagai ∂L . Sehingga bila perumusan pemuaian logam adalah $\Delta L = \alpha L \Delta T$ (Young and Freedman, 1998), dan apabila perubahan temperatur mendekati nol maka persamaan pemuaian logam menjadi $\partial L = \alpha L \partial T$.

2.2 METODE HORISONTAL

Metode Horisontal (Metris) adalah metode perhitungan yang dilakukan secara horisontal menggunakan bantuan notasi pagar (Goenawan, 2000). Notasi pagar (|) ini berfungsi sebagai pembatas yang jelas dalam menjelaskan Konsep Asosiasi Posisi atau Nilai Tempat (*place value*). Nilai tempat bilangan adalah landasan dari Bilangan Desimal yang dikonstruksi dari digit-digit dari angka 0 hingga 9. Pada sistem Bilangan Desimal, setiap posisinya mempunyai nilai 10 kali lebih besar daripada bila digit tersebut terletak di sebelah kanannya (Goenawan, 2007).

Pada Notasi pagar Metris (|) berguna untuk merepresentasikan Konsep Asosiasi Posisi. Perlu adanya konversi dari bilangan desimal dengan notasi pagar menjadi bentuk desimal biasa, yang harus memenuhi syarat (Goenawan dan Gunawan, 2012): Jumlah digit bilangan di SEBELAH KANAN notasi pagar **harus sama** dengan jumlah notasi pagar dan Bila jumlah digit bilangan di SEBELAH KANAN notasi pagar **lebih banyak** dari notasi pagar, maka harus ada bilangan yang **digeser** dan **dijumlahkan** dengan bilangan yang terletak di SEBELAH KIRI notasi pagar.

Beberapa contoh perkalian satu digit dengan bilangan puluhan dan ratusan menggunakan Metris (Goenawan, 20014). Contoh perkalian satu digit: $4 \times 73 = 4 \times (7|3) = 4 \times 7|4 \times 3 = 28|12 = 29|2 = 292$. Contoh perkalian dua digit Metris merupakan perkalian dua bilangan puluhan yang diselesaikan menggunakan bantuan secara bertahap perkalian metris satu digit, lalu disusun rata kanan dan dijumlahkan secara menyamping (+M).

$$\begin{aligned} 32 \times 26 &= \dots \\ 3 \times 26 &= 6|18 \\ 2 \times 26 &= 4|12 \quad +M \\ &= 6|4+18|12 = 6|22+1|2 = 6+2|3|2 = 832. \end{aligned}$$

2.3 METODE SUBSTITUSI METRIS

Metode Substitusi dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan linear dinamis yang mempunyai dua parameter dinamis. Contoh dua persamaan linear dinamis $Y_1 = a \cdot X_1 + b$ dan $Y_2 = a \cdot X_2 + b$, dimana nilai titik koordinat variabel Y_1 ; X_1 ; Y_2 ; X_2 adalah dinamis sekitar nilai tertentu. Relasi kedua titik koordinat dinamis tersebut dapat saling dihubungkan yang akan menghasilkan persamaan garis lurus. Persamaan garis lurus yang diperoleh akan berupa persamaan garis linear dengan nilai parameter a dan b yang dinamis pula. Penyelesaian yang efektif dan efisien dapat menggunakan metode substitusi metris, seperti pada kasus di mana pada koordinat pertama nilai ordinat Y_1 = sekitar nilai $10 = 1|x$, dan nilai absisnya X_1 = sekitar nilai $40 = 4|x$, sedangkan pada koordinat kedua nilai ordinat Y_2 = sekitar nilai $25 = 2|5-x$, dan nilai absisnya X_2 = sekitar nilai $15 = 1|5+x$. Sehingga bentuk Persamaan linear dinamis adalah:

$$(1|x) = a \cdot (4|x) + b \quad (1)$$

$$(2|5-x) = a \cdot (1|5+x) + b \quad (2)$$

Dari pers.(1) dapat diperoleh persamaan untuk parameter b :

$$b = (1|x) - a \cdot (4|x) \quad (3)$$

kemudian pers.(3) disubstitusikan ke pers.(2)

$$(2|5-x) = a \cdot (1|5+x) + (1|x) - a \cdot (4|x) \quad (4)$$

Sehingga diperoleh persamaan $(2|5-x) - (1|x) = a \cdot ((1|5+x) - (4|x))$, atau

$$a = (1|5-2x) \div (-25) = - (1|5-2x) \times 4 \cdot 10^{-2}$$

$$a = - (4|20-8x) \times 10^{-2} = - (6|-8x) \times 10^{-2} = - (0,|6|-8x) \quad (5)$$

setelah nilai parameter a dinamis telah diketahui, maka nilai tersebut dapat disubstitusikan ke pers.(3) untuk menghasilkan persamaan nilai parameter b dinamis.

$$b = (1|x) + (6|-8x) \times (4|x) \times 10^{-2} \quad (6)$$

Perkalian $(6|-8x) \times (4|x)$ dapat diselesaikan dengan menggunakan bantuan perkalian metris.

$$(6|-8x) \times (4|x) = \dots$$

$$6 \times (4|x) = 24 \mid 6x$$

$$(-8x) \times (4|x) = \frac{-32x \mid -8x^2}{+M}$$

$$= 24 \mid 6x - 32x \mid -8x^2 = 2 \mid 4 \mid -26x \mid -8x^2 = 2 \mid 4 - 2x \mid -6x \mid -8x^2$$

Sehingga nilai parameter b dinamis adalah

$$b = (1|x) + (2|4 - 2x \mid -6x \mid -8x^2) \times 10^{-2} = (1|x) + (2|4 - 2x \mid -6x \mid -8x^2)$$

$$b = 3|4 - x \mid -6x \mid -8x^2$$

(7)

Selanjutnya setelah persamaan nilai parameter a dan b dinamis diperoleh, maka untuk melengkapinya di bawah ini dibuat tabel 1 berupa hasil perhitungan persamaan linear dinamis berbantuan metode substitusi metris.

Tabel 1. Perhitungan Persamaan Linear Dinamis dengan Metode Substitusi Metris

No.	Y_1	X_1	Y_2	X_2	x	a	b
1	12	42	23	17	2	-0,44	30,48
2	11	41	24	16	1	-0,52	32,32
3	10	40	25	15	0	-0,60	34,00
4	9	39	26	14	-1	-0,68	35,52
5	8	38	27	13	-2	-0,76	36,88

Langkah berikutnya pada penelitian ini, penyelesaian permasalahan Fisika Pemuaian Dinamis akan menggunakan metode substitusi Metris, yaitu untuk mencari formula yang paling efektif pada kasus pemuaian logam dimana temperatur akhir logam berubah dinamis sekitar nilai tertentu.

3. ANALISA PERHITUNGAN PEMUAIAN LOGAM

Pada analisa perhitungan pemuaian logam, mula-mula digunakan asumsi bahwa perubahan pertambahan pemuaian panjang logam (ΔL) sebanding dengan perubahan suhunya (ΔT) juga sebanding dengan panjang awal logam tersebut (L) (Tipler, 1998). Pada analisa guna penyelesaian kasus perhitungan pemuaian logam dinamis terlebih dahulu perlu diketahui temperatur awal (T_a) dan akhir logam (T_b) serta bila $T_b > T_a$ maka $\Delta T = T_b - T_a$. Simbol koefisien muai panjang adalah α dengan satuannya sepermeter atau sepercentimeter. Persamaan linear muai panjang dapat ditulis sebagai $\Delta L = \alpha L \Delta T$. Apabila $\Delta T \rightarrow 0$ maka $\Delta L \rightarrow 0$, maka akan menjadi persamaan $\partial L = \alpha L \partial T$, selanjutnya kedua sisi persamaan dibagi dengan L menjadi $\partial L/L = \alpha \partial T$, lalu persamaan ini diintegrasikan mulai dari batas bawah T_a hingga batas atas T_b .

$$\int_{L_0}^{L_1} \left[\frac{\partial L}{L} \right] = \int_{T_0}^{T_1} \alpha \cdot \partial T \quad (8)$$

Dihasilkan persamaaan

$$\begin{aligned} [\ln L]_{L_0}^{L_1} &= \alpha \cdot [T]_{T_0}^{T_1} \\ \ln \left(\frac{L_1}{L_0} \right) &= \alpha \cdot [T_1 - T_0] \end{aligned} \quad (9)$$

Kemudian persamaan parameter koefisien muai panjang (α) dapat diperoleh dari pers.(9):

$$\alpha = \frac{\ln \left(\frac{L_1}{L_0} \right)}{[T_1 - T_0]} \quad (10)$$

Dalam sebuah percobaan nilai parameter logam dapat dicari dengan menggunakan data panjang awal dan akhir logam serta data suhu awal dan akhirnya dengan menggunakan pers.(10) di atas. Sehingga bila nilai koefisien muai panjang telah diketahui terlebih dahulu, maka persamaan pemuaian panjang (11) dan perubahan panjang logam total (12) dapat diperoleh, yaitu:

$$\begin{aligned} \ln \left(\frac{L_1}{L_0} \right) &= \alpha \cdot [T_1 - T_0] \\ \frac{L_1}{L_0} &= e^{\alpha [T_1 - T_0]} \end{aligned} \quad (11)$$

$$L_1 = L_0 \cdot e^{\alpha [T_1 - T_0]}$$

$$\Delta L = L_1 - L_0$$

$$\Delta L = L_0 \cdot [e^{\alpha \cdot [T_1 - T_0]} - 1] \quad (12)$$

Selanjutnya apabila formula nilai koefisien muai panjang α dari pers.(10) ini kemudian disubstitusikan ke pers.(12) akan dihasilkan formula ΔL tanpa perlu terlebih dahulu diketahui nilai parameter koefisien muai panjang logam tersebut, pers.(13).

$$\Delta L = L_0 \cdot \left[e^{\frac{\ln\left(\frac{L_1}{L_0}\right)}{[T_1 - T_0]} [T_2 - T_0]} - 1 \right]$$

$$\Delta L = L_0 \cdot \left[\left(e^{\frac{\ln\left(\frac{L_1}{L_0}\right)}{[T_1 - T_0]}} \right)^{\frac{[T_2 - T_0]}{[T_1 - T_0]}} - 1 \right]$$

Apabila nilai suhu $T_2 > T_1 > T_0$ dan $\Delta L = L_2 - L_0$.

$$\Delta L = L_0 \cdot \left[\left(\frac{L_1}{L_0} \right)^{\frac{[T_2 - T_0]}{[T_1 - T_0]}} - 1 \right] \quad (13)$$

Setelah diperoleh persamaan di atas dari hasil substitusi selanjutnya untuk kasus permasalahan pemuaian logam dinamis sekitar nilai tertentu dalam mencari ΔL dengan kasus perhitungan T_2 dinamis. Pada kasus ini terdapat sebuah logam jenis z pada suhu 50 C panjang awal 1,5 meter, kemudian dipanaskan secara merata ke suhu 150 C terjadi perubahan panjang 2 cm, lalu permasalahan yang muncul adalah bagaimanakah menentukan model formula paling efektif dari perubahan panjangnya bila suhu dinaikkan disekitar nilai 250 C dengan perubahan pada puluhan (230, 240, 250, 260, 270).

Dari data permasalahan pemuaian logam di atas dapat diketahui:

$$L_0 = 1,5 \text{ m}; \quad L_1 = 1,52 \text{ m}; \quad T_0 = 50 \text{ C}; \quad T_1 = 150 \text{ C}; \quad T_2 = \text{sekitar } 250 \text{ C} = (2|5+x|0) \text{ C}$$

Selanjutnya data yang telah diketahui tersebut disubstitusikan ke pers.(13):

$$\Delta L = L_0 \cdot \left[\left(\frac{L_1}{L_0} \right)^{\frac{[T_2 - T_0]}{[T_1 - T_0]}} - 1 \right] = 1,5 \cdot \left[\left(\frac{1,52}{1,5} \right)^{\frac{[(2|5+x|0) - 50]}{[150 - 50]}} - 1 \right] = 1,5 \cdot \left[\left(\frac{1,52}{1,5} \right)^{\frac{(2|x|0)}{100}} - 1 \right] \quad (14)$$

Penyelesaian pers.(14) di atas dapat didekati dengan menggunakan deret Maclaurin.

$$\Delta L = 1,5 \cdot \left[\left(\frac{1,52}{1,5} \right)^{(2|x|)} - 1 \right] = 1,5 \cdot \left[\left(\frac{1,52}{1,5} \right)^{(2+0,1 \cdot x)} - 1 \right] \approx C_0 + C_1 \cdot x \quad (15)$$

Kemudian nilai konstanta C_0 dan C_1 dapat dicari, mula-mula mencari nilai konstanta C_0 dengan memasukkan nilai $x = 0$ ke pers.(15).

$$C_0 = 1,5 \cdot \left[\left(\frac{1,52}{1,5} \right)^2 - 1 \right] \approx 0,040267$$

Setelah itu mencari nilai konstanta C_1 dengan menurunkan satu kali pers.(15),

Turunan I

$$\Delta L^I = L_0 \cdot \left(e^{\ln\left(\frac{L_1}{L_0}\right)} \right)^{(2+0,1 \cdot x)} \cdot \ln\left(\frac{L_1}{L_0}\right) \cdot 0,1 = \frac{L_0}{10} \cdot \left(\frac{L_1}{L_0} \right)^{(2+0,1 \cdot x)} \cdot \ln\left(\frac{L_1}{L_0}\right)$$

$$\Delta L(x) = \frac{L_0}{10} \cdot \left(\frac{L_1}{L_0} \right)^{(2+0,1-x)} \cdot \ln \left(\frac{L_1}{L_0} \right) \quad (16)$$

dan memasukkan nilai $x = 0$ ke pers.(16).

$$C_1 = \Delta L(x=0) = \frac{1,5}{10} \cdot \left(\frac{1,52}{1,5} \right)^2 \cdot \ln \left(\frac{1,52}{1,5} \right) \approx 0.002040$$

Akhirnya dengan mensubstitusikan nilai konstanta C_0 dan C_1 ke pers.(14) serta nilai tempat bilangan dipisahkan dengan bantuan notasi pagar Metris (|) maka dapat dihasilkan Formula Efektif ΔL , pers.(17):

$$\Delta L \approx C_0 + C_1 \cdot x \approx (0,|0|4|0|2|6|7) + (0,|0|0|2x|0|4x|0) \approx 0,|0|4|2x|2|6+4x|7 \text{ meter}$$

$$\Delta L \approx (4,|2x|2|6+4x|7) \text{ cm} \quad (17)$$

Selanjutnya dengan menggunakan pers.(17) ini, hasil perhitungan perubahan panjang logam dapat dicari dengan lebih efektif dan efisien seperti tampak pada tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan ΔL dengan suhu akhir T_2 Dinamis dengan Substitusi Metris

No.	T_2 (C)	x	ΔL_{metris} (cm)	$\Delta L_{\text{pengukuran}}$ (cm)
1	230	-2	$4,|-4|2|-2|7 = 3,6187$	3,6
2	240	-1	$4,|-2|2|2|7 = 3,8227$	3,8
3	250	0	4,0267	4,0
4	260	1	$4,|2|2|10|7 = 4,2307$	4,2
5	270	2	$4,|4|2|14|7 = 4,4347$	4,4

4. KESIMPULAN

Proses perhitungan dalam mencari perubahan panjang logam akibat pemuaian yang dinamis dapat dilakukan dengan menggunakan gabungan metode perubahan suhu dekati nol dan Metode Substitusi Metris. Kecanggihan dalam memanfaatkan Metode Substitusi Metris ini adalah perhitungan akhir dalam memperoleh hasil perubahan panjang akibat pemuaian dinamis akan lebih efisien dari pada cara konvensional. Dengan menggunakan metode substitusi metris, maka proses perhitungan mampu lebih efektif dan efisien karena setiap kali menghitung untuk mencari hasil perubahan panjang logam dinamis tersebut tidak perlu harus dilakukan dari awal kembali seperti terlihat pada perhitungan formula efektif metris dari pers.(17) dan tabel 2. Oleh karena itu sebagai bahan pertimbangan kedepannya dalam percobaan fisika yang lain apabila terdapat variabel data percobaannya dilakukan berulang kali sekitar nilai tertentu maka agar formula akhir yang dihasilkan dalam proses perhitungannya menjadi lebih efektif dan efisien dapat menggunakan bantuan Metris.

PUSTAKA

- Goenawan, S. I. Maret 2000. *Metode Horisontal* (Metris), Metris. Vol.1. Jakarta, Atma Jaya University. 1-8.
- Goenawan, S. I. dan Gunawan, A. A. S. 2007. *Metris: Perkalian Ajaib*, Kawan Pustaka, 2007, ISBN 979-757-231-5.
- Goenawan, S. I. dan Gunawan, A. A. S. 2012. *Metris: Penjumlahan & Pengurangan Ajaib*, Elex Media Komputindo, ISBN 978-602-02-4560-7.
- Goenawan, S. I. and Rippun, F. 2014. *Prosedur Komputasi Bertingkat Metris Untuk Pemrograman Perkalian Pada Sistem Mikroprosesor*, Prosiding Seminar Ritektra, ISBN : 978-602-71306-0-9. 145-149.
- Goenawan, S. I. 2012. *Metris: The Best Arithmetics For Education Be The Center Knowledge of Arithmetics in The World*, Material as the Speaker on the Mathematics Education Seminar in UNY, Yogyakarta 24 March 2012.
- Goenawan, S. I. 2013. *The Learning of METRIS Arithmetics, More Easily and Quickly*, Material as the Speaker on the Mathematics Education Seminar in PGRI Indraprasta University, Jakarta. 9 June 2013.
- Young and Freedman. 1998. *University Physics. Ninth Edition*. Addison-Wesley. ISBN 0-201-32756-2
- Tipler. 1998. *Fisika Jilid 2*. Penerbit Erlangga. ISBN 979-411-624-6.

PENERAPAN STRATEGI PERAWATAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) PADA MESIN CONVECTION (STUDI KASUS PT. XYZ)

Liberty Sopaheluwakan, Hadi Santosa*, Ivan Gunawan

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya,

Jalan Kalijudan 37 Surabaya
*Email : hadi-s@ukwms.ac.id

ABSTRAK

PT. XYZ merupakan perusahaan manufacture yang memproduksi kantong semen. Permasalahan yang dihadapi saat ini oleh perusahaan adalah perusahaan belum memiliki jadwal perawatan yang efektif pada mesin *conversion*. *Reliability centered maintenance (RCM)* merupakan metode yang dipilih untuk menyelesaikan permasalahan yang ada karena analisa perawatan mesin yang ada pada metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* sangat menyeluruh mulai dari analisa fungsi sistem, dampak kegagalan fungsi sistem hingga strategi perawatan yang sesuai untuk sistem dan komponen yang dianalisa. Hasil dari penerapan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* pada mesin *conversion* diperoleh strategi perawatan yang efektif yakni: perawatan *preventive maintenance* untuk komponen *pentagon knife*, *puffer*, *vacuum cup* dan perawatan *predective maintenance* untuk komponen *tooth belt*, *link felt*, *dumper* sedangkan untuk perawatan *corrective maintenance* yakni komponen *teflon washer* dan *magnet*. Komponen yang mendapatkan perawatan *preventive maintenance* dilakukan uji efektifitas jadwal menggunakan simulasi monte carlo dan diperoleh jadwal yang efektif yakni 1368 jam atau 57 hari untuk komponen *pentagon knife*, 1176 jam atau 49 hari untuk komponen *puffer* dan 1320 jam atau 55 hari untuk komponen *vacuum cup*.

Kata kunci : *Reliability Centered Maintenance (RCM)*, *Preventive Maintenance*, *Monte Carlo*, *Predictive Maintenance*, *Corrective Maintenance* I.

1. PENDAHULUAN

1.1 Pendahuluan

Mesin dalam dunia industri memiliki definisi sebagai salah satu faktor produksi yang menentukan kelancaran suatu proses produksi. Kelancaran proses produksi menuntut dibutuhkan kondisi mesin dalam keadaan baik. Sehingga terdapat suatu keadaan produksi yang memuaskan sesuai apa yang direncanakan.

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan suatu metode perawatan yang memanfaatkan informasi yang berkenaan dengan keandalan suatu fasilitas untuk memperoleh strategi perawatan yang efektif, efisien dan mudah untuk dilaksanakan. Melalui penerapan *Reliability Centered Maintenance (RCM)* dapat diperoleh informasi apa saja yang harus dilakukan untuk menjamin peralatan/mesin dapat terus beroperasi dengan baik. Selain itu, ada yang mendefinisikan *Reliability Centered Maintenance (RCM)* sebagai suatu metode yang digunakan untuk mengembangkan dan memilih alternatif desain pemeliharaan berdasarkan kriteria keselamatan operasional. (Kurniawan Fajar, 2013)

PT XYZ merupakan salah satu perusahaan manufaktur yang memproduksi kantong semen (sak semen) untuk memenuhi pesanan dari perusahaan-perusahaan yang memproduksi semen. Perusahaan ini beroperasi selama 24 jam dalam sehari dengan kapasitas produksi kantong semen (sak semen) 80.000 lembar/bulan. Berdasarkan hasil pengamatan lapangan dan wawancara dengan kepala *devisi maintenance* diperoleh informasi bahwa mesin yang sangat vital untuk dilakukan perawatan adalah mesin *conversion* karena dari seluruh kerusakan mesin yang terjadi selama ini, kerusakan yang dialami oleh mesin *conversion* langsung menghambat proses produksi dibandingkan dengan mesin yang lain seperti mesin cetak dan mesin *printing*. Metode perawatan mesin yang ada saat ini pada PT. XYZ adalah *corrective maintenance* (penggantian komponen dilakukan hanya saat terjadi kerusakan pada setiap mesin) yang dinilai belum mampu untuk mengatasi permasalahan perawatan mesin khususnya mesin *conversion* sehingga dibutuhkan sebuah metode yang mampu untuk menganalisa dan menentukan strategi perawatan yang efektif untuk meningkatkan keandalan pada mesin *conversion*.

Melalui metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* diharapkan dapat menentukan strategi perawatan yang efektif dan efisien untuk menyelesaikan permasalahan kerusakan pada mesin *conversion* sehingga dapat mengurangi gangguan pada proses produksi. Penerapan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* dilakukan dengan mengeksplorasi fungsi dan kegagalan yang dialami oleh sistem hingga komponen dan juga menganalisa tingkat kekritisan komponen untuk dipilih strategi perawatan yang efektif dan efisien.

1.2 Tinjauan Pustaka

1.2.1 *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan suatu metode perawatan yang memanfaatkan informasi yang berkenaan dengan keandalan suatu fasilitas, untuk memperoleh strategi perawatan yang efektif, efisien dan mudah untuk dilaksanakan. Penerapan *Reliability Centered Maintenance (RCM)* dapat diperoleh informasi apa saja yang harus dilakukan untuk menjamin peralatan/mesin dapat terus beroperasi dengan baik. Selain itu juga ada yang mendefinisikan *Reliability Centered Maintenance (RCM)* adalah suatu metode yang digunakan untuk mengembangkan dan memilih alternatif desain pemeliharaan berdasarkan kriteria keselamatan operasional.

1.2.2 Konsep Preventive

Konsep *preventive maintenance* pertama kali diterapkan di Jepang pada tahun 1971. Konsep ini mencakup semua hal yang berhubungan dengan *maintenance* dengan segala implementasinya dilapangan. Konsep ini mengikutsertakan pekerja dari bagian produksi untuk ambil bagian dalam kegiatan *maintenance* tersebut. *Preventive maintenance* dapat diartikan sebagai suatu pengamatan secara sistematis disertai analisis ekonomis untuk menjamin berfungsinya suatu peralatan produksi dan memperpanjang umur suatu peralatan yang bersangkutan.

1.2.3 Konsep Keandalan

Keandalan merupakan salah satu karakteristik dari peralatan, sistem, maupun komponen. MIL-STD-721C mendefinisikan keandalan sebagai peluang sebuah perangkat untuk mampu melakukan fungsi yang ditujukan dalam suatu interval waktu dan kondisi tertentu. **II.4 Maintability**

Maintainability adalah peluang dari suatu komponen atau perangkat yang mengalami kerusakan untuk diperbaiki dan kembali berfungsi secara efektif dalam rentang waktu yang disediakan, dimana perbaikan tersebut harus dilakukan sesuai dengan prosedur yang ditetapkan (Ebeling, 1997).

1.2.4 Mean Time Between Failure (MTBF)

MTBF adalah waktu rata-rata antara satu kerusakan dengan kerusakan lain dari suatu komponen atau perangkat. MTBF merupakan perbandingan antara waktu operasi dengan jumlah kegagalan dalam periode waktu tertentu (Ebeling, 1997).

1.2.5 Mean Time To Repair (MTTR)

MTTR adalah waktu rata-rata yang diperlukan untuk melakukan suatu perbaikan atau perawatan yang dibutuhkan untuk mengembalikan suatu komponen atau perangkat ke kondisi dapat beroperasi kembali. MTTR ini dapat diperoleh dengan menghitung total waktu pada setiap kali dilakukan sebuah perbaikan dibagi dengan jumlah perbaikan yang dilakukan (Ebeling, 1997). **II.7 Pengujian Distribusi**

Dengan bantuan perangkat lunak *Weibull ++6* dilakukan penentuan distribusi waktu antar kegagalan dan lama waktu perbaikan yang paling sesuai dengan menggunakan tiga macam pengujian distribusi, yaitu:

1. Average Goodness of Fit (AvGOF)

Untuk menganalisis kesesuaian data dapat dimanfaatkan uji *goodness of fit* (kesesuaian) antara distribusi frekuensi hasil pengamatan dengan distribusi frekuensi yang diharapkan. Uji *goodness of fit* berdasarkan pada uji *Kolmogorov-Smirnov*, yang beranggapan bahwa distribusi variabel yang sedang diuji bersifat kontinu dan sampel diambil dari populasi sederhana.

2. Average of Plot (AvPlot)

AvPlot didasarkan pada *normalized index* dari uji *plot fit*. Hasil uji ditunjukkan dalam *AvPlot index* yang merupakan normalisasi dari koefisien korelasi (ρ'). Nilai koefisien korelasi adalah $-1 \leq \rho' \leq 1$. Jika nilai mutlaknya mendekati 1, maka akan semakin baik. Pada perangkat lunak *Weibull ++6*, nilai *AvPlot index* didapatkan dengan melakukan normalisasi dari koefisien korelasi diatas. Ketentuan yang dipakai adalah jika semakin kecil nilai *AvPlot*, maka distribusi yang diuji akan lebih baik dari pada yang lain.

3. Nilai dari Likelihood Function Ratio (LKV)

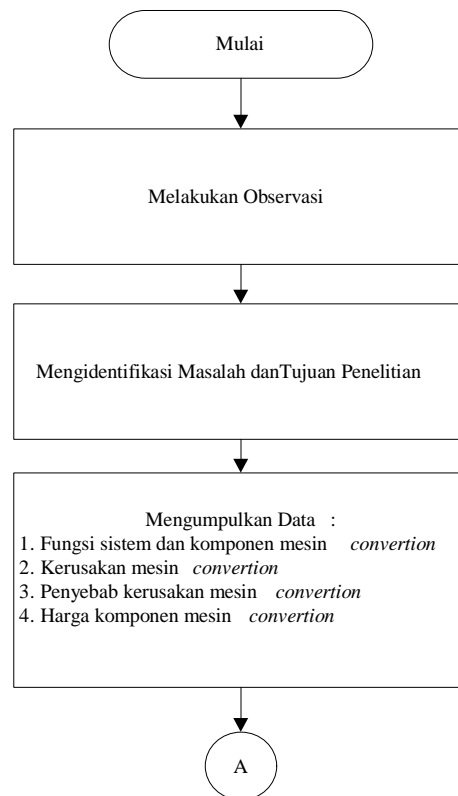
LKV adalah suatu metode untuk menentukan jenis distribusi dari suatu data dengan cara membandingkan kemiripan dari dua model. Uji ini berdasarkan pada *likelihood ratio*, yang menggambarkan berapa kali terdapat kecocokan suatu kelompok data terhadap karakteristik suatu model. *Likelihood ratio* diukur berdasarkan nilai logaritmanya sehingga sering disebut *log-likelihood ratio*.

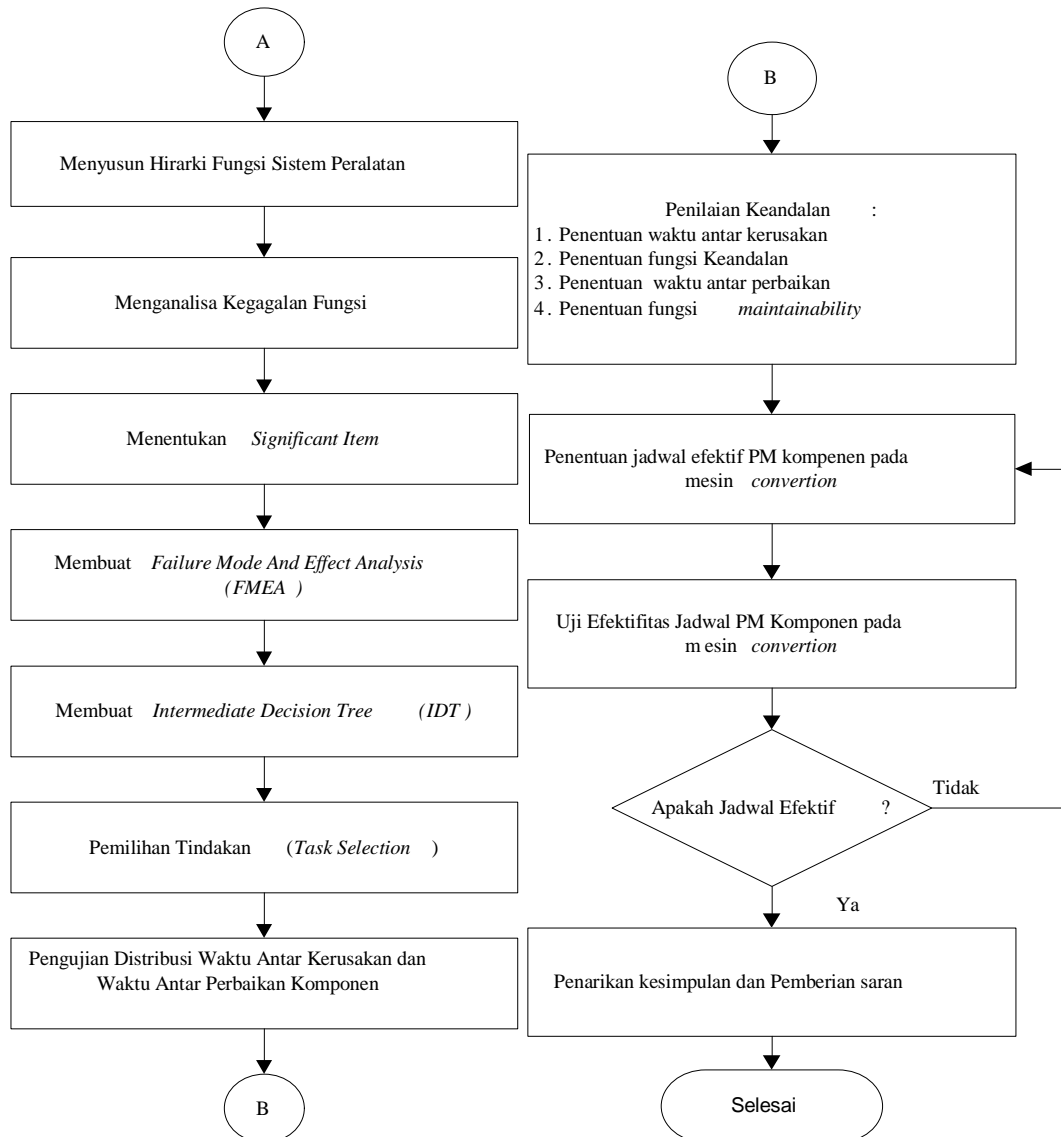
1.2.6 Simulasi Monte Carlo

Simulasi *Monte Carlo* adalah suatu perangkat untuk mengevaluasi model deterministik dengan menggunakan sekumpulan bilangan acak (*random number*) sebagai masukan. Sebagai contoh, suatu keandalan dari sub sistem (*i*) yang data waktu antar kegagalannya (*ti*) mengikuti distribusi *Weibull* 3 parameter, dapat disusun ulang dengan membuat keandalan atau *R(ti)* menjadi variabel bebas dan *ti* sebagai variabel tidak bebas.

1.3 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan sebagai berikut :





2. PEMBAHASAN

2.1 Pengumpulan Dan Pengolahan Data

2.1.1 Pemilahan Sistem Pada Mesin Conversion

Berdasarkan data yang diperoleh dari *devisi maintenance* PT. XYZ, ditentukan sistem-sistem yang akan dianalisis menggunakan metode *reliability centered maintenance (RCM)* yakni sistem *cutting unit*, sistem *intermittent*, sistem *bottom opener* dan sistem *cover patch device* untuk mengetahui strategi perawatan yang efektif untuk mesin *conversion*.

Tabel 1. Sistem Dan Komponen

Sistem	Komponen
Cutting Unit	Pentagon Knife
	Dumper
	Air Cylinder Cutting
Intermittent	Puffer
	Magnet
	Stamp Cylinder
Bottom Opener	Vacuum Cup
	Link Flet
	Stop Plate
	Stamp
cover patch device	Tooth Belt
	Flash Cut Knife
	Teflon Washer

2.1.2 Penentuan Indeks Kekritisan Komponen Sistem

Penentuan indeks kekritisan komponen sistem dihasilkan dari perkalian antara nilai bobot dengan nilai kategori dari masing-masing komponen.

Tabel 2. Indeks Kekritisan Komponen Sistem

Sistem	Komponen	Safety	Enviroment	Availability	Cost	Kekritisan	Rank
		Nilai bobot x Nilai rank	Nilai bobot x Nilai rank	Nilai bobot x Nilai rank	Nilai bobot x Nilai rank		
Cutting Unit	Pentagon Knife	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.5 \times 4) = 2$	$(0.3 \times 1) = 0.3$	2.5	1
	Dumper	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.5 \times 3) = 1.5$	$(0.3 \times 1) = 0.3$	2	2
	Air Cylinder	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.5 \times 1) = 0.5$	$(0.3 \times 1) = 0.3$	1	3
Inter Mitten	Puffer	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.5 \times 5) = 2$	$(0.3 \times 2) = 0.6$	2.8	1
	Magnet	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.5 \times 3) = 1.5$	$(0.3 \times 1) = 0.3$	2	2
	Stamp Cylinder	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.5 \times 2) = 1$	$(0.3 \times 2) = 0.6$	1.8	3
Bottom Opener	Vacuum Cup	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.5 \times 4) = 2$	$(0.3 \times 1) = 0.3$	2.5	1
	Link Flet	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.5 \times 3) = 1.5$	$(0.3 \times 1) = 0.3$	2	2
	Stop Plate	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.5 \times 2) = 1$	$(0.3 \times 1) = 0.3$	1.5	3
	Stamp	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.5 \times 2) = 1$	$(0.3 \times 1) = 0.3$	1.5	3
Cover Patch Device	Tooth Belt	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.5 \times 4) = 2$	$(0.3 \times 1) = 0.3$	2.5	1
	Flash Cut Knife	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.5 \times 3) = 1.5$	$(0.3 \times 1) = 0.3$	2	3
	Teflon Washer	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.1 \times 1) = 0.1$	$(0.5 \times 1) = 0.5$	$(0.3 \times 5) = 1.5$	2.2	2

Berdasarkan hasil perhitungan indeks kekritisan komponen sistem, selanjutnya diambil dua komponen dari masing-masing sistem berdasarkan peringkat kekritisan komponen untuk dianalisis lebih lanjut menggunakan metode *failure mode and effect analysis (FMEA)*.

2.1.3 Failure Mode And effect Analysis (FMEA)

Analisa *failure mode and effect analysis (FMEA)* berdasarkan hasil perkalian dari nilai *severity*, *occurrence* dan *detection* dari masing-masing komponen, kemudian didapatkan nilai *risk priority number (RPN)* yakni nilai prioritas resiko. Komponen yang memiliki nilai *risk priority number (RPN)* tertinggi merupakan komponen yang memiliki prioritas utama untuk ditangani lebih lanjut. *failure mode and effect analysis (FMEA)* dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 3. Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)

No	Komponen	Severity	Occurrence	Detection	RPN	Rank
1	<i>Pentagon Knife</i>	9	4	10	360	1
2	<i>Dumper</i>	3	3	10	90	7.5
3	<i>Puffer</i>	6	5	10	300	2
4	<i>Magnet</i>	3	3	10	90	7.5
5	<i>Vacuum cup</i>	6	4	10	240	3
6	<i>Link Felt</i>	4	3	10	120	5
7	<i>Teflon Washer</i>	10	1	10	100	6
8	<i>Tooth Belt</i>	4	4	10	160	4

Berdasarkan Tabel 3 yakni tabel *failure mode and effect analysis (FMEA)* didapatkan nilai *risk priority number (RPN)* tertinggi adalah *pentagon knife*, *puffer*, dan *vacuum cup*. Langkah selanjutnya yakni menganalisa pengaruh dari kegagalan dengan menggunakan *intermediate decision tree (IDT)* untuk menentukan kegagalan dari masing-masing komponen termasuk kegagalan yang nampak atau tersembunyi dan untuk mengetahui pengaruh kegagalan terhadap keselamatan, produksi atau non produksi.

2.1.4 Intermediate Decision Tree (IDT)

Berdasarkan hasil analisa menggunakan *intermediate decision tree (IDT)* diketahui bahwa semua komponen termasuk dalam kategori B yakni dampak kerusakan berpengaruh terhadap proses produksi kecuali magnet yang termasuk dalam kategori D yakni dampak kerusakan tersembunyi.

2.1.5 Pemilihan Tindakan

Berdasarkan hasil pemilihan tindakan perawatan menggunakan metode *task selection* maka diperoleh metode perawatan yang sesuai untuk masing-masing komponen yakni :

➤ *Preventive maintenance :*

1. *Pentagon knife*
2. *Puffer*
3. *Vacuum cup*

Ketiga komponen tersebut masuk ke dalam perawatan *preventive maintenace* (penggantian komponen sebelum terjadi kerusakan) karena memiliki tingkat kekritisian yang sangat tinggi berdasarkan hasil penentuan indeks kekritisian komponen dan analisa FMEA dengan melihat *risk priority number (RPN)*.

➤ *Predictive maintenance :*

1. *Tooth belt*
2. *Dumper*
3. *Link felt*

➤ *Corrective maintenance*

1. *Magnet*
2. *Teflon Washer*

Kedua komponen tersebut masuk ke dalam perawatan *corrective maintenance* (penggantian komponen saat terjadi kerusakan) karena kerusakan yang dialami oleh *magnet* tidak dapat dideteksi oleh operator sedangkan untuk *teflon washer* sangat kecil mengalami kerusakan (tingkat kekritisannya sangat rendah). Langkah selanjutnya adalah membuat jadwal perawatan *preventive maintenance* untuk ketiga komponen yakni *pentagon knife*, *puffer* dan *vacuum cup* dengan uji efektifitas jadwal menggunakan teknik *monte carlo*.

2.1.6 Penentuan Parameter Keandalan Komponen

Berdasarkan hasil pengolahan interval waktu kerusakan komponen menggunakan software Ms. Excel dan *Weibull ++6* diperoleh MTBF masing-masing komponen. Pada tabel dibawah ini dapat dilihat MTBF masing-masing Komponen.

Tabel 4. MTBF Komponen

Komponen	MTBF
<i>Pentagon Knife</i>	1584 jam.
<i>Puffer</i>	1392 jam.
<i>Vacuum Cup</i>	1536.

2.1.7 Penentuan Parameter Keandalan Komponen

Berdasarkan hasil pengolahan interval waktu kerusakan komponen menggunakan software Ms. Excel dan *Weibull* ++6 diperoleh MTTR masing-masing komponen. Pada tabel dibawah ini dapat dilihat MTTR masing-masing Komponen.

Tabel 5. MTTR Komponen

Komponen	MTTR
<i>Pentagon Knife</i>	0,71666667 Jam
<i>Puffer</i>	0,48333333 Jam
<i>Vacuum Cup</i>	0,46666667 Jam

2.1.8 Uji Efektifitas Jadwal *Preventive Maintenance* Dengan Teknik *Monte Carlo*

Tabel 6. Hasil Pengujian Efektifitas Jadwal *Preventive Maintenance* Komponen *Pentagon Knife*

Komponen <i>Pentagon Knife</i>				
Total Perulangan (N)	500			
Interval Waktu Perawatan (TP)	1296	1368	1440	1512
Indikator Sukses	460	427	388	317
Indikator Gagal	40	73	112	183
Reliability	92%	85,4%	77,6%	63,4%
Biaya Perawatan	Rp 650.000	Rp 650.000	Rp 650.000	Rp 650.000
Biaya Perbaikan	Rp 935.554	Rp 935.554	Rp 935.554	Rp 935.554
Total Biaya Preventive	Rp 212.341.469	Rp 197.108.276	Rp 179.105.413	Rp 146.330.969
Total Biaya Corrective	Rp 24.535.186	Rp 45.407.130	Rp 69.001.715	Rp 112.912.561
Total Biaya Maintenance	Rp 236.876.655	Rp 242.515.406	Rp 248.107.128	Rp 259.243.530

Tabel 7. Hasil Pengujian Efektifitas Jadwal *Preventive Maintenance* Komponen *Pentagon Knife* (Lanjutan)

Komponen <i>Pentagon Knife</i>					
Total Perulangan (N)	500				
Interval Waktu Perawatan (TP)	1584	1656	1728	1800	1872
Indikator Sukses	242	199	104	40	24
Indikator Gagal	258	301	396	460	476
Reliability	48,4%	39,8%	20,8%	8%	4,8%
Biaya Perawatan	Rp 650.050	Rp 650.000	Rp 656.000	Rp 650.000	Rp 650.000
Biaya Perbaikan	Rp 935.554	Rp 935.554	Rp 935.554	Rp 935.554	Rp 935.554
Total Biaya Preventive	Rp 111.710.077	Rp 91.860.766	Rp 48.007.636	Rp 18.464.476	Rp 11.078.685
Total Biaya Corrective	Rp 159.250.124	Rp 186.056.548	Rp 244.703.096	Rp 282.819.332	Rp 293.323.677
Total Biaya Maintenance	Rp 270.960.201	Rp 277.917.313	Rp 292.710.732	Rp 301.283.807	Rp 304.402.362

Berdasarkan Tabel 7, interval waktu perawatan (T_p) yang digunakan dalam jam beserta keandalan (dalam presentase) yang dihasilkan adalah 1296 jam (92%), 1368 jam (85,4%), 1440 jam (77,6%), 1512 jam (63,4%), 1584 jam (48,4%), 1656 jam (39,8%), 1728 jam (20,8%), 1800 jam (8%), dan 1872 jam (4,8%).

Tabel 8. Hasil Pengujian Efektifitas Jadwal Preventive Maintenance Komponen Puffer

Komponen Puffer				
Total Perulangan (N)	500			
Interval Waktu Perawatan (T_p)	1104	1176	1248	1320
Indikator Sukses	478	441	380	308
Indikator Gagal	22	59	120	192
Reliability	95,6%	88,2%	76%	61,6%
Biaya Perawatan	Rp 250.000	Rp 250.000	Rp 250.000	Rp 250.000
Biaya Perbaikan	Rp 444.554	Rp 444.554	Rp 444.554	Rp 444.554
Total Biaya Preventive	Rp 56.090.584	Rp 51.748.844	Rp 44.590.841	Rp 36.142.050
Total Biaya Corrective	Rp 3.626.477	Rp 9.765.049	Rp 20.018.278	Rp 32.080.775
Total Biaya Maintenance	Rp 59.717.061	Rp 61.513.893	Rp 64.609.119	Rp 68.222.825

Tabel 9. Hasil Pengujian Efektifitas Jadwal Preventive Maintenance Komponen Puffer (Lanjutan)

Komponen Puffer					
Total Perulangan (N)	500				
Interval Waktu Perawatan (T_p)	1392	1464	1536	1608	1680
Indikator Sukses	227	141	105	63	42
Indikator Gagal	273	359	395	437	458
Reliability	45,4%	28,2%	21%	12,6%	8,4%
Biaya Perawatan	Rp 250.000	Rp 250.000	Rp 250.000	Rp 250.000	Rp 250.000
Biaya Perbaikan	Rp 444.554	Rp 444.554	Rp 444.554	Rp 444.554	Rp 444.554
Total Biaya Preventive	Rp 26.637.160	Rp 16.545.549	Rp 65.631.946	Rp 7.392.692	Rp 4.928.461
Total Biaya Corrective	Rp 45.806.604	Rp 59.228.348	Rp 12.619.522	Rp 72.558.030	Rp 75.746.171
Total Biaya Maintenance	Rp 72.443.764	Rp 75.773.896	Rp 78.251.468	Rp 79.950.722	Rp 80.674.632

Berdasarkan Tabel 9, interval waktu perawatan (T_p) yang digunakan dalam jam beserta keandalan (dalam presentase) yang dihasilkan adalah 1104 jam (95,6%), 1176 jam (88,2%), 1248 jam (76%), 1320 jam (61,6%), 1392 jam (45,4%), 1464 jam (28,2%), 1536 jam (21%), 1608 jam (12,6%), dan 1680 jam (8,4%).

Tabel 10. Hasil Pengujian Efektifitas Jadwal Preventive Maintenance Komponen Vacuum Cup

Komponen Vacuum Cup				
Total Perulangan (N)	500			
Interval Waktu Perawatan (T_p)	1248	1320	1392	1464
Indikator Sukses	492	426	340	262
Indikator Gagal	8	74	160	238
Reliability	98,4%	85,2%	68%	52,4%
Biaya Perawatan	Rp 180.000	Rp 180.000	Rp 180.000	Rp 180.000
Biaya Perbaikan	Rp 368.054	Rp 368.054	Rp 368.054	Rp 368.054
Total Biaya Preventive	Rp 40.437.458	Rp 35.012.921	Rp 27.944.585	Rp 31.048.560

Total Biaya Corrective	Rp 1.180.817	Rp 11.022.309	Rp 23.891.841	Rp 27.967.078
Total Biaya Maintenance	Rp 41.618.275	Rp 46.035.230	Rp 51.836.426	Rp 59.015.638

Tabel 11. Hasil Pengujian Efektifitas Jadwal *Preventive Maintenance* Komponen *Vacuum Cup* (Lanjutan)

Komponen <i>Vacuum Cup</i>					
Total Perulangan (N)	500				
Interval Waktu Perawatan (TP)	1536	1608	1680	1752	1824
Indikator Sukses	207	163	126	84	75
Indikator Gagal	293	337	374	416	425
Reliability	41,4	32,6	25,2	16,8	15
Biaya Perawatan	Rp 180.000	Rp 180.000	Rp 180.000	Rp 180.000	Rp 180.000
Biaya Perbaikan	Rp 368.054	Rp 368.054	Rp 368.054	Rp 368.054	Rp 368.054
Total Biaya Preventive	Rp 17.013.321	Rp 13.396.963	Rp 10.355.934	Rp 6.903.956	Rp 6.164.247
Total Biaya Corrective	Rp 44.151.758	Rp 50.620.134	Rp 55.833.969	Rp 62.467.108	Rp 63.566.546
Total Biaya Maintenance	Rp 61.165.079	Rp 64.017.097	Rp 66.189.903	Rp 69.371.064	Rp 69.730.793

Berdasarkan Tabel 11, interval waktu perawatan (*TP*) yang digunakan dalam jam beserta keandalan (dalam presentase) yang dihasilkan adalah 1248 jam (98,4%), 1320 jam (85,2%), 1392 jam (68%), 1464 jam (52,4%), 1536 jam (41,4%), 1608 jam (32,6%), 1680 jam (25,2%), 1752 jam (16,8%), dan 1824 jam (15%).

3. ANALISA DATA

3.1 Penentuan Waktu Optimum Penggantian Komponen

Penentuan interval waktu perawatan (*TP*) yang ditetapkan sesuai dengan kebutuhan perusahaan dengan melihat *reliability* (keandalan) dan penghematan biaya pada masing-masing interval waktu perawatan (*TP*) masing-masing komponen sehingga dapat menerapkan *preventive maintenance* dengan baik yang berguna untuk mengurangi *loss profit*. Penjadwalan *preventive maintenance* komponen *pentagon knife* yakni pada interval waktu perawatan 1368 jam atau 57 hari dengan keandalan 85,4% dan penghematan biaya sebesar 21,30%, komponen *puffer* yakni pada interval perawatan 1176 jam atau 49 hari dengan keandalan 88,2% dan penghematan biaya sebesar 25,50%, sedangkan untuk komponen *vacuum cup* yakni pada interval waktu perawatan 1320 jam atau 55 hari dengan keandalan 85,2% dan penghematan biaya sebesar 39,56%.

3.2 Perbandingan Biaya *Preventive* Dengan Biaya *Corrective* Pada Masing-Masing Komponen

Perbandingan biaya *preventive* dengan biaya *corrective* pada masing-masing komponen digunakan untuk menganalisa penghematan biaya yang dihasilkan masing-masing komponen dari penerapan *preventive maintenance* pada masing-masing komponen.

Tabel 12. Perbandingan Biaya *Preventive* Dengan Biaya *Corrective* Pada Masing-Masing Komponen

Komponen	Biaya <i>Preventive</i>	Biaya <i>Corrective</i>	Penghematan	Presentase
<i>Pentagon Knife</i>	Rp 650.000	Rp 935.554	Rp 285.554	30,52%
<i>Puffer</i>	Rp 250.000	Rp 444.554	Rp 194.554	43,76%
<i>Vacuum Cup</i>	Rp 180.000	Rp 368.054	Rp 188.054	51,09%

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil penerapan metode *reliability centered maintenace (RCM)* pada mesin *conversion* diperoleh strategi perawatan yang efektif yakni :
 - Perawatan *preventive maintenance* : komponen *pentagon knife*, *puffer* dan *vacuum cup*.
 - Perawatan *predective maintenace* : komponen *tooth belt*, *link felt*, dan *dumper*.
 - Perawatan *corrective maintenace* :

komponen *teflon washer* dan *magnet*

2. Pengujian jadwal *preventive maintenance* menggunakan simulasi *monte carlo* menghasilkan jadwal perawatan yang efektif dan penghematan biaya untuk masing-masing interval waktu perawatan yang dipilih adalah sebagai berikut: komponen *pentagon knife* yakni 1368 jam atau 57 hari (keandalan 85,4%) dengan penghematan sebesar 21,30%, komponen *puffer* yakni 1176 jam atau 49 hari (keandalan 88,2%) dengan penghematan sebesar 25,50%, sedangkan untuk komponen *vacuum cup* yakni 1320 jam atau 55 (keandalan 85,2%) dengan penghematan sebesar 39,56%.

4.2 Saran

1. Komponen yang akan dilakukan penjadwalan penggantian harus dilakukan identifikasi dan analisa secara menyeluruh untuk mengetahui tingkat kekritisannya komponen tersebut.
2. Dalam menerapkan *preventive maintenance* harus melakukan uji terhadap setiap interval waktu perawatan untuk mengetahui keandalan dan penghematan biaya pada masing-masing interval waktu perawatan, waktu *MTBF* hanya sebagai acuan untuk mengetahui rata-rata kerusakan yang dialami oleh komponen.

PUSTAKA

- Giani, M., (2006), *A Cost-based Optimization of Fiberboard Pressing Plant Using Monte Carlo Simulation (A reliability program)*, Queensland University of Technology, Australia, diunduh 1 Oktober 2010.
- Ir. Fajar Kurniawan, M.Si, RQP, (2013), *Manajemen Perawatan Industri*, Graha Ilmu, Yogyakarta
- Ebeling, C. E., (1997), *Reliability and Maintainability Engineering*, International Edition, McGraw-Hill, New York.
- Jardine, A. K. S, (1970), *Operational Research in Maintenance*, Manchester University Press ND.
- Labeau, P. E., and Zio, E., (2002), "Procedures of Monte Carlo Transport Simulation for Applications in System Engineering," *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 77, hal. 217-228.
- Nguyen, D. Q., Brammer, C., and Bagajewicz, M., (2008), "New Tool for the Evaluation of the Scheduling of Preventive Maintenance for Chemical Process Plants," *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 49, hal. 1910-1924.
- Prakoso, Y. S., (2012), *Penentuan Interval Waktu Perawatan Pencegahan pada Proses Continuous Soap Making (CSM) Pembuatan Sabun Mandi Batang dengan Menggunakan Simulasi Monte Carlo*, Tesis yang tidak dipublikasikan, Program Studi Magister Manajemen Teknologi ITS, Surabaya.
- Rakhmad, M. B., (2011), *Optimasi Interval Waktu Perawatan Pencegahan Pada Sistem Pemasok Bahan Bakar Turbin Gas dengan Menggunakan Simulasi Monte Carlo*, Tesis yang tidak dipublikasikan, Program Studi Magister Manajemen Teknologi ITS, Surabaya.
- Reliasoft Corporation, (2005), *How are the values in the AVGOF and AVPLOT columns calculated in Weibull++'s Distribution Wizard?*, <http://www.weibull.com/hotwire/issue51/tooltips51.htm>, diunduh 30 Oktober 2013.
- Wittwer, J. W., (2004), *Monte Carlo Simulation Basics*, Entry from *Vertex42.com*, 1 June 2004, diunduh 16 Oktober 2012.

EVALUASI DAN PERBAIKAN SISTEM PELAYANAN LOKET BADAN PENYELENGGARA JAMINAN SOSIAL (BPJS) CABANG SURABAYA MENGUNAKAN SIMULASI

Agatha Nusamaris Keban, Ig. Jaka Mulyana*, Luh Juni Asrini
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
Jl. Kalijudan 37 Surabaya
*email : jmulyono@ukwms.ac.id

ABSTRAK

Antrian sering terjadi apabila bagian fasilitas pelayanan sedang sibuk melayani pelanggan sebelumnya, sehingga ada waktu pelanggan selanjutnya, yang terbuang untuk menunggu. Tujuan pengamatan adalah untuk melihat kinerja 4 loket di BPJS kesehatan Surabaya serta memberikan usulan perbaikan yang dapat dipertimbangkan. Pengamatan menggunakan teori antrian dan dilakukan simulasi dengan bantuan software Arena. Locket A memiliki 3 fasilitas pelayanan, loket B, C dan DE memiliki 1 fasilitas pelayanan. Data diambil perhari (Senin-Jumat), merupakan data primer berupa data waktu kedatangan pelanggan dan data waktu pelayanan. Dari hasil pengamatan dan simulasi, didapat waktu menunggu dan pelanggan mengantri paling banyak di loket C hari Senin, sementara waktu menunggu dan pelanggan mengantri paling sedikit pada loket A hari Jumat. Berdasarkan 3 usulan perbaikan, usulan 1 dan 2 memberikan hasil secara kuantitatif, yakni dapat mengurangi waktu tunggu dalam antrian. Sedangkan usulan 3 tidak dapat memberikan hasil secara kuantitatif. Ketiga usulan ini baik, namun dapat dipilih usulan perbaikan terbaik dengan mempertimbangkan biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan.

Kata Kunci: Sistem antrian, Simulasi, , BPJS Kesehatan Surabaya

1. PENDAHULUAN

Kesehatan merupakan salah satu aspek penting dalam kehidupan manusia. Seiring perkembangan jaman, gaya hidup masyarakat yang semakin *modern*, banyak penyakit baru muncul. Namun seiring berkembangnya teknologi masa kini, dapat ditemukan pengobatan bagi penyakit yang ada, yang tentunya tidak memakan biaya yang sedikit. Hal ini dirasa berat terutama jika yang terserang penyakit adalah kalangan menengah kebawah. Adanya jaminan kesehatan yang dijalankan oleh pemerintah tentunya sangat membantu bagi masyarakat yang kesusahan dengan masalah biaya pengobatan, salah satunya adalah program BPJS kesehatan yang telah berjalan sejak Januari 2014.

Kantor BPJS Kesehatan Surabaya selalu dipadati oleh warga Surabaya yang belum memiliki kartu jaminan ini, ataupun warga yang ingin mengurus hal lain yang berkaitan seperti pembayaran, pergantian data maupun persetujuan kacamata. Hal ini menyebabkan antrian yang cukup panjang di setiap loket. Antrian terbentuk saat fasilitas pelayanan yang tersedia sedang sibuk melayani objek sebelumnya. Kegiatan antri yang terjadi jika terlalu lama akan menyebabkan rasa jenuh, dan tentunya membuang waktu produktif seseorang. Oleh karena itu, waktu menunggu sebisa mungkin diminimalkan. Sebagai instansi milik negara, tentunya BPJS kesehatan tetap harus mengusahakan tingkat pelayanan yang terbaik dan berkualitas bagi warga.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Petrus Lajor Ginting (2013) melakukan analisa system antrian di sebuah bank dan didapatkan hasil berupa penurunan waktu tunggu antrian yang semula 5.41 menit menjadi 4 menit dengan melakukan penambahan teller sejumlah 2-5 teller. Novela Sekar Sari (2013) melakukan penelitian analisis antrian pada SPBU, juga menunjukkan kinerja pelayanan yang optimal dengan menambahkan 1 jalur fasilitas SPBU pada periode jam sibuk.

Pada makalah ini akan dibahas analisa dan usulan perbaikan loket BPJS Kesehatan Surabaya dengan menggunakan teroi antrian dan simulasi.

1.1 Tinjauan Pustaka

A. BPJS Kesehatan

BPJS Kesehatan bersama BPJS Ketenagakerjaan (dahulu bernama Jamsostek) merupakan program pemerintah dalam kesatuan Jaminan Kesehatan Nasional (JKN) yang diresmikan pada tanggal 31 Desember 2013. BPJS Kesehatan (Badan Penyelenggara Jaminan Sosial Kesehatan) merupakan Badan Hukum Publik yang bertanggung jawab langsung kepada Presiden dan memiliki tugas untuk menyelenggarakan jaminan Kesehatan Nasional bagi seluruh rakyat Indonesia, terutama untuk Pegawai Negeri Sipil, Penerima Pensiun PNS dan TNI/POLRI, Veteran, Perintis Kemerdekaan beserta keluarganya dan Badan Usaha lainnya ataupun rakyat biasa.

BPJS Kesehatan sebelumnya bernama Askes (Asuransi Kesehatan), yang dikelola oleh PT Askes Indonesia (Persero), namun sesuai UU No. 24 Tahun 2011 tentang BPJS, PT. Askes Indonesia berubah menjadi BPJS Kesehatan dan mulai beroperasi sejak tanggal 1 Januari 2014.

B. Model Antrian

Ada beberapa macam model antrian yang telah banyak digunakan. Penggunaan model antrian ini, mengikuti situasi dan keadaan dimana model antrian itu diterapkan. Dalam mengelompokkan model-model antrian yang berbeda, digunakan suatu notasi yang disebut "Kendall's Notation".

Notasi itu dituliskan: $[a/b/c/d/e/f]$

dimana :

a = distribusi kedatangan

b = distribusi pelayanan, untuk distribusi kedatangan dan pelayanan menggunakan lambang:

M menunjukkan distribusi Poisson atau Eksponensial

E_k menunjukkan distribusi Erlang

D menunjukkan distribusi konstan

G menunjukkan distribusi umum (selain diatas)

c = banyaknya *server* pelayanan

d = disiplin antrian

e = jumlah maksimum pelanggan dalam sistem

f = jumlah sumber kedatangan pelanggan

Model-model antrian yang umum digunakan adalah sebagai berikut:

a. Model A: M/M/1 (*Single Channel Query System* atau model antrian jalur tunggal). Model ini adalah model yang paling sederhana. Kedatangan membentuk satu jalur tunggal dan hanya dilayani oleh satu *server* saja. Pola kedatangan mengikuti distribusi Poisson dan waktu pelayan mengikuti distribusi eksponensial negatif. Pelayanan dilakukan secara *first-come, first-served*. Rumus-rumus antrian yang digunakan untuk model A adalah sebagai berikut:

b. Model B: M/M/s (*Multiple Channel Query System* atau model antrian jalur berganda). Model antrian jalur berganda ini memiliki dua atau lebih *server* yang akan melayani pelanggan yang datang. Pelanggan yang datang akan membentuk satu jalur dan kemudian akan dilayani oleh *server* yang pertama kali tersedia. Pola kedatangan mengikuti distribusi Poisson dan waktu pelayan mengikuti distribusi eksponensial negatif.

c. Model C: M/D/1 (*constant service* atau waktu pelayanan konstan). Beberapa sistem memiliki waktu pelayanan yang tetap, dan bukan berdistribusi eksponensial seperti yang umumnya dipakai.

d. Model D: (*limited population* atau populasi terbatas). Model ini berbeda dengan ketiga model yang lain, karena saat ini terdapat hubungan *saling ketergantungan* antara panjang antrian dan tingkat kedatangan.

C. Simulasi

Simulasi adalah perancangan objek dengan parameter yang mendekati nilai sebenarnya. Simulasi digunakan untuk operasionalisasi model untuk meniru tingkah-laku sistem yang sesungguhnya. Simulasi dapat mengurangi rasio kegagalan untuk memenuhi standar atau target yang diinginkan, menghilangkan kejadian yang tak terduga, mengatur sumber daya, serta mengoptimalkan performa sistem.

Keuntungan menggunakan simulasi adalah sebagai berikut:

1. Fleksibel
2. Menghemat waktu
3. Mengkoreksi kesalahan perhitungan
4. Dapat dihentikan dan dijalankan kembali

Kelemahan menggunakan simulasi adalah sebagai berikut:

1. Memerlukan masukan managerial yang baik
2. Tidak menghasilkan langsung solusi yang optimal
3. Apabila memasukkan *input* yang salah, maka *output* simulasi pun juga salah, sehingga membutuhkan ketelitian yang cukup besar

1.2 Metodologi Penelitian

Pengamatan dilakukan di 4 loket yakni loket :

Loket A : tempat pendaftaran peserta baru

Loket B : tempat pencetakan kartu BPJS

Loket C : tempat perubahan data dan pendaftaran peserta baru khusus TNI, PNS, Pensiunan

Loket D : tempat *acc* dan legalisir kacamata

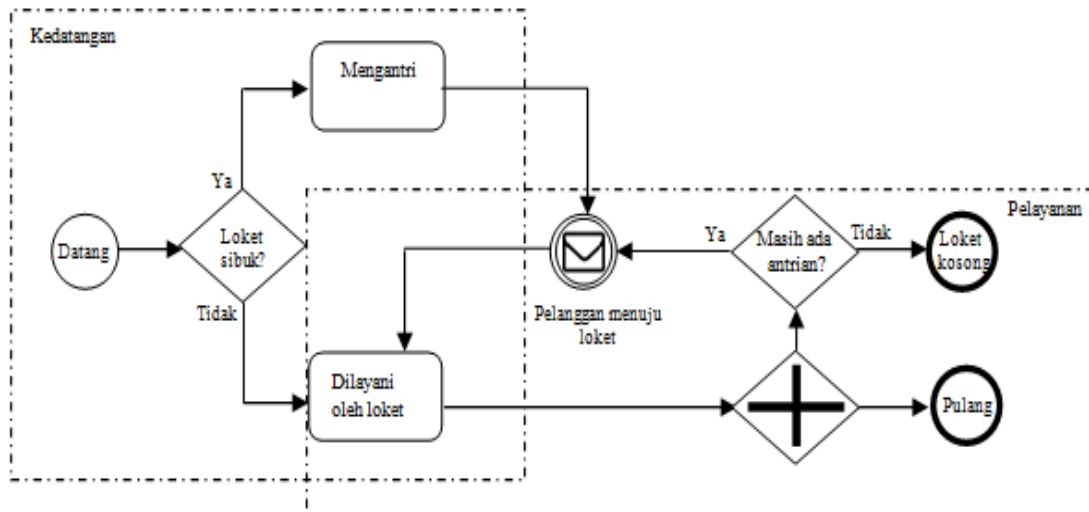
Loket E : tempat pembayaran

Sebelum dilakukan pengumpulan data dilakukan pembuatan model konseptual berupa diagram siklus aktivitas di setiap loket. Pengumpulan data mulai hari Senin hingga Jumat dan dilakukan selama 2 minggu. Data yang dikumpulkan adalah data waktu antar kedatangan dan waktu pelayanan. Data kemudian diolah, seperti menguji kecukupan data, uji distribusi waktu kedatangan dan uji distribusi waktu pelayanan. Setelah itu akan didapat model antrian sesuai dengan distribusi yang telah didapat.

Simulasi menggunakan *software Arena* (versi 14) merupakan tahap selanjutnya, guna melihat gambaran yang mendekati situasi yang sebenarnya. Simulasi kemudian di verifikasi dan validasi. Setelah sesuai, baru dilakukan analisa dan menemukan nilai-nilai seperti waktu pelanggan dalam sistem (W_s), jumlah pelanggan dalam sistem (L_q), waktu pelanggan dalam antrian (W_q) dan jumlah pelanggan dalam antrian (L_q). Setelah itu dilakukan analisa berdasar hasil *output* untuk menentukan kinerja loket dan dibuat usulan perbaikan yang akan meningkatkan kinerja setiap loket. Usulan perbaikan akan disimulasikan juga, dan pada akhirnya dapat diterapkan usulan yang terbaik.

2. PEMBAHASAN

Pelayanan di loket kantor BPJS Kesehatan dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Proses di Kantor BPJS Kesehatan Surabaya

2.1 Waktu Antar Kedatangan, Pelayanan dan Model Antrian

Berdasarkan hasil pengamatan waktu antar kedatangan dan waktu pelayanan disetiap loket didapatkan distribusi waktu antar kedatangan dan waktu pelayanan seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2. Sedangkan model antrian setiap loket dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 1. Distribusi Waktu Antar Kedatangan

	Distribusi Waktu Antar Kedatangan			
	Loket A	Loket B	Loket C	Loket DE
Senin	Ekspensial	Weibull	Beta	Beta
Selasa	Ekspensial	Ekspensial	Beta	Triangular
Rabu	Beta	Weibull	Weibull	Triangular
Kamis	Beta	Triangular	Beta	Beta
Jumat	Triangular	Triangular	Beta	Beta

Tabel 2. Distribusi waktu pelayanan

Loket	Distribusi
Loket A	Erlang
Loket B	Beta
Loket C	Erlang
Loket DE	Beta

Tabel 3. Model antrian

Loket Hari	Loket A	Loket B	Loket C	Loket DE

Senin	M/E _k /3/FCFS/∞/∞	G/G/1/FCFS/∞/∞	G/E _k /1/FCFS/∞/∞	G/G/1/FCFS/∞/∞
Selasa	M/E _k /3/FCFS/∞/∞	M/G/1/FCFS/∞/∞	G/E _k /1/FCFS/∞/∞	G/G/1/FCFS/∞/∞
Rabu	G/E _k /3/FCFS/∞/∞	G/G/1/FCFS/∞/∞	G/E _k /1/FCFS/∞/∞	G/G/1/FCFS/∞/∞
Kamis	G/E _k /3/FCFS/∞/∞	G/G/1/FCFS/∞/∞	G/E _k /1/FCFS/∞/∞	G/G/1/FCFS/∞/∞
Jumat	G/E _k /3/FCFS/∞/∞	G/G/1/FCFS/∞/∞	G/E _k /1/FCFS/∞/∞	G/G/1/FCFS/∞/∞

Panjang tulisan antara 8-10 halaman, termasuk lampiran. Font yang digunakan adalah Times New Roman dengan style dan ukuran sebagaimana contoh dalam template ini, kecuali font untuk penulisan algoritma atau program yang akan dijelaskan lebih terperinci dalam bagian tersendiri. Untuk optimalisasi halaman, usahakan jumlah halaman genap.

Perhatikan penggunaan bahasa. Gunakan Bahasa Indonesia yang baku untuk ragam ilmiah. Jika Anda menggunakan istilah asing yang belum diserap ke dalam Bahasa Indonesia, tuliskan *italic* (miring). Jika istilah tersebut sudah terserap ke dalam Bahasa Indonesia atau sudah lazim di dunia informatika, seperti monitor, tidak perlu Anda tulis miring.

2.2. Simulasi Keadaan Awal

Dalam membuat suatu simulasi, dibutuhkan beberapa komponen untuk memodelkan suatu sistem. Masing-masing model dibuat untuk setiap loket dengan spesifikasi yang berbeda pula. Melalui bantuan *software Arena* (versi 14), dibuat beberapa model untuk membantu merepresentasikan situasi yang sebenarnya. Simulasi ini dilakukan dengan 10 kali replikasi. *Input* yang digunakan antara lain waktu antar kedatangan dan waktu pelayanan, dengan menggunakan *expression* yang telah didapat dari hasil uji distribusi. Untuk waktu antar kedatangan berbeda di setiap loket per harinya, sedangkan untuk waktu pelayanan sama untuk setiap loket, tidak bergantung pada hari. Hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil simulasi sistem awal

Hari	Lq (orang)				Ws (menit)				Wq (menit)				Utilitas			
	A	B	C	DE	A	B	C	DE	A	B	C	DE	A	B	C	DE
Senin	1	3	4	1	2,71	5,98	7,67	4,41	0,21	4,04	5,96	2,23	0,72	0,56	0,37	0,93
Selasa	1	2	3	2	2,61	5,44	6,44	4,7	0,12	3,52	4,73	2,52	0,64	0,44	0,27	0,84
Rabu	0	1	2	0	2,58	3,92	5,39	2,8	0,07	1,96	3,59	0,61	0,59	0,33	0,14	0,76
Kamis	0	0	0	0	2,55	2,6019	2,59	2,77	0,04	0,62	0,73	0,51	0,63	0,41	0,21	0,72
Jumat	0	0	1	0	2,5	2,4387	2,94	2,91	0,01	0,47	1,08	0,68	0,65	0,33	0,07	0,69

Dimana :

- Lq = rerata jumlah pelanggan yang antri
- Ws = rerata waktu seorang pelanggan dalam sistem
- Wq = rerata waktu seorang pelanggan dalam antrian
- Utilitas = proporsi waktu loket sibuk

2.3. Usulan Perbaikan Sistem

Jika dilihat dari hasil simulasi, jumlah rata-rata pelanggan yang antri seperti pada Tabel 4, didapat hasil berupa banyak orang mengantri pada loket C hari Senin dan Selasa, yaitu sejumlah 4 orang mengantri per menit untuk hari Senin, dan 3 orang mengantri per menit untuk hari Selasa. Sementara itu pada loket A tidak memerlukan perbaikan, karena jumlah pelanggan yang mengantri hanya berkisar minimum 0 orang dan maksimum 1 orang per menitnya. Untuk loket B terdapat minimum 0 orang dan 3 orang mengantri per menitnya. Untuk loket DE juga cenderung tidak terbentuk antrian pada hari Rabu dan Kamis, 1 orang pada hari Senin dan Rabu, serta 2 orang pada hari Selasa.

Hal ini kontras dengan hasil rata-rata waktu yang dihabiskan oleh pelanggan dalam antrian seperti pada tabel 5.5, waktu terlalu lama yang terjadi adalah di loket C hari Senin dan Selasa yaitu rata-rata 6 menit per orang untuk hari Senin, dan 5 menit per orang untuk hari Selasa. Perlu diingat karena ini merupakan waktu rata-rata, sedangkan waktu sebenarnya yang dihabiskan untuk mengantri bisa lebih cepat maupun lebih lama dari rata-rata tersebut diatas. Jika waktu yang dihabiskan lebih lama daripada waktu rata-rata, tentunya akan membuat pelanggan bosan dan lelah menunggu.

Oleh karena itu, dengan melihat hasil *output* diatas, usulan perbaikan akan diberlakukan hanya pada loket C pada hari Senin dan Selasa. Ada beberapa skenario perbaikan yang akan dilakukan, dan pada akhirnya akan dipilih satu yang memberikan hasil terbaik bagi pelanggan maupun bagi perusahaan. Sistem usulan kemudian di simulasikan menggunakan *software Arena*. Untuk perbaikan diusulkan 2 (dua) skenario perbaikan yaitu :

1. Skenario 1 : Mengalihkan pelanggan loket C ke loket A jika antrian pelanggan mencapai jumlah tertentu.

Pada usulan perbaikan yang pertama ini, dilakukan pengalihan bagi pelanggan loket C ke loket A jika pelanggan yang antri melebihi 4 orang. Rata-rata orang mengantri di loket C adalah 4 orang, dengan minimum rata-rata 0 orang mengantri dan maksimum rata-rata 8 orang mengantri. Loket A dipilih karena di loket A terdapat 3 fasilitas pelayanan, memungkinkan untuk membantu melayani pelanggan loket C. Selain itu, utilitas loket A masih ada yang cenderung rendah, sehingga dapat dimanfaatkan untuk membantu melayani loket C.

Hasil simulasi loket A sistem awal dan sistem perbaikan skenario 1 dapat dilihat pada Tabel 5, sedangkan loket C dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 5. Hasil simulasi loket A skenario 1

Hari	Wq		Lq		Utilitas	
	Sistem Awal	Skenario 1	Sistem Awal	Skenario 1	Sistem Awal	Skenario 1
SENIN	0,21	0,32	1	1	0,55	0,58
SELASA	3,52	3,8	1	1	0,45	0,51

Tabel 6. Hasil simulasi loket C skenario 1

Hari	Wq		Lq		Utilitas	
	Sistem Awal	Skenario 1	Sistem Awal	Skenario 1	Sistem Awal	Skenario 1
SENIN	5,94	3,6	4	2	0,95	0,95
SELASA	4,73	3,66	3	2	0,93	0,93

Skenario 1 ini memberikan perubahan pada waktu tunggu di loket A dan loket C. Pada hari Senin, di loket A terjadi penambahan waktu tunggu per pelanggan, namun angka ini tidak terlalu besar, yaitu sekitar 0,11 menit, sedangkan di loket C terjadi penurunan waktu tunggu sebesar 2,3 menit. Pada hari Selasa, di loket A terjadi penambahan waktu tunggu per pelanggan sekitar 0,1 menit, sedangkan di loket C terjadi penurunan waktu tunggu sebesar 0,83 menit. Untuk jumlah pelanggan yang mengantri, baik di hari Senin atau Selasa, di loket A tidak terjadi kenaikan jumlah pelanggan yang mengantri, sedangkan di loket C terjadi penurunan yakni sebesar 2 pada hari Senin, dan 1 orang pada hari Selasa. Tentunya hal ini sangat baik karena antrian yang terbentuk pun semakin sedikit. Utilisasi loket A mengalami peningkatan, karena loket A ikut melayani pelanggan loket C yang datang. Utilisasi loket tidak menunjukkan perubahan penurunan nilai yang signifikan untuk loket C, yang berarti daya kerja loket C masih tetap tinggi, dan tidak terdapat banyak waktu beristirahat. Usulan pertama ini tidak perlu menambah fasilitas pelayanan maupun menambah petugas loket, karena hanya mengalihkan pelanggan ke loket sebelah, sehingga tidak ada *cost of service* yang dikeluarkan perusahaan.

2. Skenario 2 : menambah 1 fasilitas pelayanan baru

Usulan kedua adalah menambah 1 fasilitas pelayanan baru untuk loket C pada hari Senin dan Selasa. 2 loket ini hanya dibuka pada hari Senin dan Selasa saja, sedangkan untuk hari Rabu, Kamis dan Jumat, kembali pada 1 loket beroperasi. Hasil simulasi loket C sistem awal dan sistem perbaikan skenario 1 dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil simulasi loket C skenario 2

Hari	Wq		Lq		Utilitas		
	Sistem Awal	Skenario 2	Sistem Awal	Skenario 2	Sistem Awal	Skenario 2 (loket C1)	Skenario 2 (loket C2)
SENIN	5,9638	0,19	4	0	0,95	0,67	0,46
SELASA	4,7299	0,18	3	0	0,93	0,65	0,42

Pada hari Senin, pada awalnya, seorang pelanggan akan menghabiskan waktu sebesar 5,9 menit mengantri namun dengan ditambahkan 1 loket baru, waktu antrian menjadi lebih kecil yaitu 0,19 menit. Perbedaan waktu yang dihasilkan cukup besar yakni 5,7 menit/orang. Pada hari Selasa, waktu tunggu seorang pelanggan yang awalnya 4,7 menit, menurun sebesar 4,59 menit, menjadi hanya sekitar 0,18 menit/orang. Untuk jumlah pelanggan yang mengantri pun memiliki penurunan yang amat baik. Dapat dilihat, dengan di tambahkannya 1 loket baru, menyebabkan 0 pelanggan yang antri pada loket C baik hari Senin maupun hari Selasa, hal ini berarti kemungkinan besar tidak akan terbentuk antrian pada loket C, pelanggan yang datang akan segera dilayani oleh 2 loket yang tersedia. Utilisasi loket C yang awalnya hanya berupa 1 loket menjadi lebih kecil jika usulan ini diterapkan. Dapat dilihat pada hari Senin loket C₁ memiliki utilisasi 0,6695 (67% waktu untuk melayani pelanggan) dan loket C₂ memiliki utilisasi sebesar 0,4598 (46% waktu untuk melayani pelanggan), sementara pada hari Selasa loket C₁ memiliki utilisasi 0,6514 (65% waktu untuk melayani pelanggan) dan loket C₂ memiliki utilisasi sebesar 0,4165 (42% waktu untuk melayani pelanggan). Dibandingkan dengan utilisasi 1 loket yang terlihat sangat padat, pada usulan ini, nilai utilitas masih dalam kategori baik. Seorang petugas loket juga memerlukan waktu untuk beristirahat, atau untuk keperluan pribadi seperti pergi ke kamar kecil.

3. KESIMPULAN

Kantor BPJS Surabaya memiliki 4 macam loket yaitu Locket A, B, C, DE. Dari keempat loket, yang memiliki waktu tunggu (Lq) dan jumlah pelanggan mengantri (Wq) paling banyak adalah di loket C pada hari Senin yaitu sebesar 5,9 menit, dan terdapat 4 orang dalam antrian.. Yang memiliki waktu tunggu (Lq) dan jumlah pelanggan mengantri (Wq) paling sedikit adalah di loket A pada hari Jumat, yaitu sebesar 0,002 menit dan 0 orang menunggu dalam antrian. Utilisasi yang tertinggi adalah di loket C pada hari Senin sebesar 0,95 dan utilisasi terendah ada di loket A, yaitu di loket A₃ sebesar 0,07, karena di loket A sudah terdapat 3 macam loket yang dapat melayani pelanggan secara bersamaan. Locket C pada hari Senin dan Selasa memiliki waktu antri dan jumlah pelanggan mengantri paling banyak, sehingga dibutuhkan usulan perbaikan. Usulan 1 dengan mengalihkan pelanggan loket C ke loket A saat pelanggan > 4, mengurangi waktu tunggu di loket C sebesar 2,36menit di hari Senin, dan 0,83menit di hari Selasa, mengurangi jumlah antrian sebesar 2 orang di hari Senin, dan 1 orang di hari Selasa. Usulan 2 dengan menambah 1 fasilitas pelayanan, mengurangi waktu tunggu sebesar 5,7menit di hari Senin dan 4,6menit di hari Selasa, tidak ada pelanggan yang mengantri (Lq = 0), usulan kedua memerlukan biaya penambahan fasilitas.

PUSTAKA

- Ahse, Nur Susila, et all., (2014)., *Analisis Sistem Antrian untuk Menentukan Tingkat Pelayanan yang Optimal pada Kasir Rumah Makan Kober Mie Setan Malang dengan Metode Simulasi.*, Skripsi Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya
- Banks, Jerry, et all., (2001)., *Third Edition Discrete-Event System Simulation.*, New Jersey: Prentice Hall
- Dimiyati, Tjuju Tarlih., Dimiyati, Akhmad., (1994)., *Operational Research "Model-model Pengambilan Keputusan"*, Bandung: Penerbit PT Sinar Baru
- Ginting, Petrus Lajor., (2013)., *Analisis Sistem Antrian dan Optimalisasi Layanan Teller (Studi Kasus Bank X di Kota Semarang).*, Skripsi Fakultas Ekonomika dan Bisnis Universitas Diponegoro Semarang
- Hall, Randolph W., (1991)., *Queieing Methods for Services and Manufacturing.*, New Jersey: Prentice Hall
- Ruswandi, Bambang., (2006)., *Penerapan Sistem Antrian Sebagai Upaya Mengoptimalkan Pelayanan Terhadap Pasien Pada Loket Pengambilan Obat di Puskesmas Cicurug Sukabumi Jawa Barat.*, Skripsi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta
- Sari, Novela Sekar., (2013)., *Analisis Teori Antrian pada Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) Gajah Mada Jember.*, Skripsi Fakultas Ekonomi Universitas Jember
- Rossetti, Manuel D., (2015)., *Second Edition Simulation Modeling and Arena.*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc

ANALISIS RESIKO *SUPPLY CHAIN* DENGAN MODEL *HOUSE OF RISK* (HOR) PADA PT TATALOGAM LESTARI

Riana Magdalena¹, Chendrasari Wahyu Oktavia², Vannie³.

¹Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
Jalan Raya Cisauk – Lapan No. 10, Cisauk, Tangerang

²Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
Jalan Raya Cisauk – Lapan No. 10, Cisauk, Tangerang

³Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
Jalan Raya Cisauk – Lapan No. 10, Cisauk, Tangerang

E-mail: riana.magdalena@atmajaya.ac.id, chendrasari@gmail.com, vannielim25@gmail.com,

ABSTRAK

PT Tatalogam Lestari merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang pembuatan genteng, baja ringan, serta aksesoris peratapan lainnya. Perusahaan sedang mengalami transisi sertifikasi kualitas produk menjadi ISO 9001:2015 yang berfokus pada pemetaan resiko untuk membuka peluang bagi perusahaan, “actions to address risks and opportunities”. Penelitian dilakukan atas kegiatan operasional di Plant L8 perusahaan dengan jenis resiko operasional. Identifikasi kejadian resiko dan agen resiko dilakukan melalui wawancara dan observasi di lingkungan pabrik. Penelitian menemukan 21 kejadian resiko (risk events) dan 20 agen resiko (risk agents). Pada HOR 1 dilakukan pengukuran severity pada risk events, occurrence pada risk agents, serta relationship antara risk events dan risk agents; dan menghasilkan nilai Aggregate Risk Potential, di mana ditemukan 8 risk agents yang menjadi 80% masalah dalam kegiatan operasional berdasarkan Pareto Diagram. HOR 2 mengidentifikasi 8 preventive actions dan perhitungan prioritas mitigasi yang sebaiknya dilakukan perusahaan berdasarkan nilai rasio antara efektivitas dan kesulitan implementasi preventive actions.

Kata Kunci: Genteng, Baja Ringan, Resiko Operasional, Pemetaan Resiko, House of Risk

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tingkat persaingan manufaktur di Indonesia sebagai negara berkembang terus mengalami peningkatan. Perkembangan ini mendorong perusahaan bersaing dengan strategi yang tepat untuk bertahan dalam persaingan. Strategi dapat dilakukan dengan mengelola *supply chain* perusahaan dengan tepat untuk mencapai efisiensi dan daya saing perusahaan. Resiko perlu dikelola dan dikendalikan agar perusahaan dapat mempertahankan dan mengembangkan bidang usahanya. Dalam Geraldin (2007), Hendricks dan Singhal (2003) menyatakan bahwa gangguan atau resiko dalam *supply chain* berdampak negatif dalam jangka panjang terhadap perusahaan dan banyak perusahaan tidak mampu pulih secara cepat dari dampak negatif tersebut.

PT Tatalogam Lestari telah memiliki sertifikasi ISO 9001 yang merupakan sebuah pencapaian kualitas yang harus dipertahankan. Saat ini ISO 9001 sedang mengalami transisi dari ISO 9001:2008 menjadi ISO 9001:2015 dengan fokus yang berbeda. ISO 9001:2008 menyuarakan mitigasi dan menghindari resiko (tindakan preventif), sedangkan ISO 9001:2015 mengubahnya menjadi “actions to address risks and opportunities”; di mana menyadari resiko dapat membuka peluang untuk mengejar kesempatan.

Rumusan Masalah:

Permasalahan dalam penelitian adalah perusahaan belum memiliki pemetaan resiko terstruktur untuk mengidentifikasi resiko dalam kegiatan *supply chain*, di mana pemetaan termasuk rencana mitigasi perusahaan. Pemetaan resiko dibutuhkan oleh PT Tatalogam Lestari untuk memenuhi persyaratan standar kualitas ISO 9001:2015.

Tujuan Penelitian:

Tujuan penelitian adalah membuat pemetaan resiko perusahaan menggunakan metode *House of Risk*, maka resiko-resiko yang mungkin timbul beserta penyebabnya dapat diidentifikasi untuk sekaligus ditemukan cara mitigasi resiko tersebut untuk meningkatkan kualitas operasional PT Tatalogam Lestari dan membuka peluang untuk mendeteksi peluang-peluang bisnis yang menguntungkan bagi perusahaan.

1.2 Tinjauan Pustaka

1.2.1 Manajemen Rantai Pasok

Menurut Pujawan (2005) rantai pasok adalah jaringan perusahaan-perusahaan yang secara bersama-sama bekerja untuk menciptakan dan menghantarkan suatu produk ke tangan pemakai akhir. Perusahaan-perusahaan tersebut biasanya termasuk *supplier*, pabrik, distributor, toko atau *retailer*, serta perusahaan pendukung seperti perusahaan jasa logistik.

Manajemen Rantai Pasok atau *Supply Chain Management* merupakan aplikasi terpadu yang memberikan dukungan sistem informasi kepada manajemen dalam hal pengadaan barang dan jasa bagi perusahaan sekaligus

mengelola hubungan di antara mitra untuk menjaga tingkat kesediaan produk dan jasa yang dibutuhkan oleh perusahaan secara optimal (Anwar, 2013). SCM mengintegrasikan pengiriman *order* dan prosesnya, pengadaan barang mentah, *order tracking*, penyebaran informasi, perencanaan kolaboratif, pengukuran kinerja, pelayanan purna jual, dan pengembangan produk baru.

1.2.2 Model Supply Chain Operation Reference (SCOR)

Model SCOR telah mengembangkan manajemen resiko rantai pasok (*Supply Chain Risk Management*; SCRM). Model ini menyajikan kerangka proses bisnis, indikator kerja, praktik-praktik terbaik (*best practices*) serta teknologi untuk mendukung komunikasi dan kolaborasi antarmitra rantai pasok, sehingga dapat meningkatkan efektivitas manajemen rantai pasok dan efektivitas penyempurnaan rantai pasok (Paul, 2014). SCOR terstruktur ke dalam lima proses manajemen yang berbeda: *Plan, Source, Make, Deliver, Return*; dari penyuplai hingga konsumen. Pendekatan dalam membangun SCOR terdiri atas Proses, Praktik, Kinerja, dan Keterampilan Sumber Daya Manusia. Penerapan model SCOR efektif berkontribusi untuk logistic yang efisien dalam operasi rantai suplai (Salazar, Caro, & Cavazos, 2012).

1.2.3 Manajemen Resiko

Resiko merupakan bentuk ketidakpastian tentang keadaan yang akan terjadi di masa depan, dengan keputusan yang diambil berdasarkan berbagai pertimbangan pada saat ini. Resiko terbagi menjadi resiko murni dan resiko spekulatif. Resiko murni adalah resiko yang disertai dengan kemungkinan kerugian dan tidak adanya kemungkinan keuntungan, contohnya adalah resiko aset fisik, resiko karyawan, dan resiko legal. Resiko spekulatif adalah resiko di mana diharapkan terjadinya kerugian dan keuntungan, contohnya adalah resiko pasar, resiko kredit, resiko likuiditas, dan resiko operasional.

Manajemen resiko merupakan bidang ilmu tentang bagaimana organisasi menerapkan ukuran dalam memetakan berbagai permasalahan yang ada dengan menempatkan berbagai pendekatan manajemen secara komprehensif dan sistematis (Fahmi, 2010).

1.2.4 Metode House of Risk (HOR)

House of Risk adalah metode terbaru dalam menganalisis resiko. Pengaplikasiannya menggunakan prinsip FMEA (*Failure Mode and Error Analysis*) untuk mengukur resiko secara kuantitatif yang dipadukan dengan model *House of Quality* (HOQ) untuk memprioritaskan agen resiko yang harus diprioritaskan terlebih dahulu untuk kemudian memilih tindakan yang paling efektif untuk mengurangi resiko potensial yang ditimbulkan oleh agen resiko. Model HOR mendasari manajemen resiko pada fokus pencegahan, yaitu mengurangi kemungkinan terjadinya agen resiko. Maka tahap paling awal adalah dengan mengidentifikasi kejadian resiko dan agen resiko. Biasanya satu agen dapat menyebabkan lebih dari satu kejadian resiko.

Mengadaptasi dari metode FMEA, penilaian resiko yang diaplikasikan adalah *Risk Priority Number* (RPN) yang terdiri dari 3 faktor, yaitu probabilitas terjadinya, tingkat keparahan dari dampak yang muncul, dan deteksi. Metode HOR hanya menetapkan probabilitas untuk agen resiko dan tingkat keparahan kejadian resiko. Karena adanya kemungkinan satu agen resiko menyebabkan lebih dari satu kejadian resiko, maka perlu kuantitas potensi resiko agregat dari agen resiko.

Mengadaptasi model *House of Quality* (HOQ) untuk menentukan agen resiko harus diberikan prioritas sebagai tindakan pencegahan. Peringkat A diberikan untuk setiap agen resiko berdasarkan besarnya nilai ARP_j untuk setiap j agen resiko. Oleh karena itu, jika terdapat banyak agen resiko, perusahaan dapat memilih terlebih dahulu agen yang berpotensi besar menimbulkan kejadian resiko.

Model dengan dua penyebaran ini disebut *House of Risk* (HOR) yang merupakan modifikasi dari model HOQ (Pujawan & Geraldin, *House of risk: a model for proactive supply chain risk management*, 2009).

- 1) HOR 1 digunakan untuk menentukan tingkat prioritas agen resiko yang harus diberikan sebagai tindakan pencegahan
- 2) HOR 2 adalah prioritas dalam pengambilan tindakan yang dianggap efektif

1.3 Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan di PT Tatalogam Lestari yang merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak dalam bidang peratapan, yaitu memproduksi genteng, baja ringan, dan aksesoris peratapan bangunan terkait. Bahan baku utama produk adalah *coil* yang berbahan dasar aluminium beserta lapisan-lapisan tertentu yang sudah siap dipakai dari *supplier* dalam dan luar negeri. Perusahaan menggunakan sistem produksi *make to stock* karena sumber produksi utamanya yang berlokasi di Cikarang dan Cibitung akan didistribusikan pada pabrik dan gudang di daerah-daerah se-Nusantara.

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi dan wawancara pada *Plant L8* perusahaan yang memproduksi nok dan baja ringan. Observasi langsung meliputi proses produksi operator pada lantai pabrik dan *staff* administrasi. Pengolahan data diawali dengan pemetaan kegiatan *supply chain* perusahaan dengan metode SCOR yang terdiri atas *Plan, Source, Make, Delivery*, dan *Return*.

Dari kegiatan proses bisnis perusahaan maka diidentifikasi resiko yang terjadi dan yang berpotensi terjadi. Masing-masing resiko dianalisis lebih lanjut untuk ditemukan agen resiko dan akibat yang ditimbulkan oleh resiko tersebut. Selanjutnya adalah *assessment* resiko dengan pembobotan untuk menentukan tingkat keparahan (*severity*) masing-masing resiko; tingkat kemungkinan terjadi (*occurrence*) agen resiko; serta nilai korelasi antar kejadian resiko dengan agen resiko (penyebab).

Tahap selanjutnya adalah perhitungan nilai *Aggregate Risk Potential* (ARP) untuk menentukan peringkat dan *risk prioritization*, yaitu menentukan urutan prioritas *risk agent* yang penting untuk dimitigasi. Penentuannya menggunakan *Pareto Diagram*, di mana agen resiko yang mendominasi 80% berarti harus dimitigasi. Dengan demikian HOR 1 selesai sampai penentuan nilai ARP.

HOR 2 bertujuan untuk perencanaan strategi mitigasi, yang memberikan pedoman bagi perusahaan agen resiko mana yang seharusnya dimitigasi terlebih dahulu berdasarkan tingkat keefektifannya dan kemudahan implementasinya berdasarkan nilai *effectiveness to difficulty ratio*; yang masing-masing dinilai dalam bobot. Sebelum memulai perhitungan, peneliti harus mengidentifikasi *preventive action* yang kiranya dapat dilakukan untuk menanggulangi agen resiko dalam perusahaan. Satu *action* bisa saja menyelesaikan beberapa agen resiko, dan satu agen resiko bisa saja diselesaikan oleh beberapa *action*, maka pembobotan sangat berguna dalam langkah ini. Hasil dari metode *House of Risk* adalah menentukan strategi mitigasi yang sebaiknya dilakukan terlebih dahulu oleh perusahaan.

2. PEMBAHASAN

2.1 Pengumpulan Data

PT Tatalogam Lestari merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak dalam bidang peratapan, yaitu memproduksi genteng, baja ringan, dan aksesoris peratapan bangunan terkait. Bahan baku utama produk adalah *coil* yang berbahan dasar aluminium beserta lapisan-lapisan tertentu yang sudah siap dipakai dari *supplier* dalam dan luar negeri. Perusahaan menggunakan sistem produksi *make to stock* karena sumber produksi utamanya yang berlokasi di Cikarang dan Cibitung akan didistribusikan pada pabrik dan gudang di daerah-daerah se-Nusantara.

Tabel 1. Pemetaan Aktivitas *Supply Chain* PT Tatalogam Lestari *Plant L8* ke dalam Model SCOR

Major Processes	Sub Processes
Plan	1. Perencanaan dan pengendalian produksi
	2. Perhitungan kebutuhan bahan baku
Source	1. Pembelian bahan baku <i>coil</i>
	2. Menerima dan menyimpan bahan baku <i>coil</i>
	3. Memeriksa bahan baku <i>coil</i> yang diterima
	4. Meletakkan <i>coil</i> pada <i>layout coil</i> (<i>warehouse area</i>)
	5. Menerima pesanan <i>customer</i>
Make	1. Melakukan proses produksi yang terdiri atas:
	2. <i>Cutting</i>
	<i>Press</i> (Nok Manual)
	<i>Roll Forming</i> Mesin Nok (Nok Otomatis)
	Pemeriksaan pada tiap tahap proses produksi
	3. <i>Packaging</i> hasil produksi
Delivery	4. Menyerahkan barang jadi ke <i>warehouse</i> sesuai dengan <i>layout</i>
	1. <i>Update</i> ketersediaan produk jadi
Return	2. Pengiriman produk ke pelanggan
	1. Pengembalian <i>coil</i> ke <i>supplier</i>
	2. Penanganan pengembalian produk jadi dari pelanggan

Berdasarkan aktivitas *supply chain* Tabel 1, maka dilakukan identifikasi *risk event* dan *risk agent* serta penilaian penentuan nilai *severity*, *occurrence*, dan nilai korelasi. Sesuai dengan skop kegiatan yang dilakukan dalam lingkungan *Plant L8*, maka kegiatan yang dilakukan adalah *Source* (2, 3, dan 4), *Make*, dan *Delivery*.

Tabel 2. Kejadian Resiko (Risk Event)

Major Processes	Sub Processes	Risk Events (Severity)	Code
Source	2. Menerima dan menyimpan bahan baku <i>coil</i>	Ketidaksesuaian surat jalan dengan identitas <i>coil</i>	E1
	3. Memeriksa bahan baku <i>coil</i> yang diterima	Kondisi <i>coil</i> yang diterima rusak/cacat	E2
	4. Meletakkan <i>coil</i> pada <i>layout coil</i> (warehouse area)	<i>Coil</i> diletakkan di tempat yang keliru	E3
		Bahan baku <i>coil</i> rusak saat penyimpanan	E4
		Kesalahan cetak stiker <i>coil</i>	E5
		Penempelan stiker tidak sesuai dengan spesifikasi <i>coil</i>	E6
Make	1. Melakukan proses produksi yang terdiri atas:		
	<i>Cutting</i>	Proses <i>cutting</i> tidak sesuai spesifikasi	E7
	<i>Press</i> (Nok Manual)	Proses <i>press</i> tidak sesuai spesifikasi	E8
	<i>Roll Forming</i> Mesin Nok (Nok Otomatis)	Proses <i>roll forming</i> nok tidak sesuai spesifikasi	E9
	<i>Roll Forming</i> Mesin Truss (Baja Ringan)	Proses <i>roll forming</i> baja ringan tidak sesuai spesifikasi	E10
	2. Pemeriksaan pada tiap tahap proses produksi	<i>Adjustment</i> mesin berubah	E11
		Mesin berhenti berproduksi	E12
		Proses produksi terhenti	E13
		Hasil produksi berbeda dengan perhitungan	E14
	3. <i>Packaging</i> hasil produksi	Penempelan stiker tidak sesuai dengan produk jadi	E15
	4. Menyerahkan barang jadi ke <i>warehouse</i> sesuai dengan <i>layout</i>	Kesalahan penempatan produk jadi pada <i>layout</i>	E16
	1. <i>Update</i> ketersediaan produk jadi	Kesalahan tarik nomor <i>packing</i>	E17
		Ketidaksesuaian fisik barang dengan dokumen (kesalahan <i>barcode</i>)	E18
	2. Pengiriman produk antar <i>plant</i>	Alamat transit antar <i>plant</i> tidak sesuai	E19
Delivery	3. Pengiriman produk ke pelanggan	Alamat pengiriman pelanggan tidak sesuai	E20
		Kesalahan tonase produk jadi	E21

Tabel 3. Agen Resiko (Risk Agent)

Agen Resiko (Risk Agent)	Code	Agen Resiko (Risk Agent)	Code
Miskomunikasi <i>Supplier</i> - Divisi <i>Purchasing</i> - Divisi SAC	A1	Kesalahan <i>setup</i> dan <i>setting</i> mesin	A11
Jarak tempuh jauh	A2	Kurangnya <i>maintenance</i> pada mesin produksi	A12
Kondisi lingkungan saat proses distribusi berjalan (hujan, dll)	A3	Kelalaian tenaga kerja	A13
Pengabaian prosedur kerja oleh karyawan/operator	A4	Terganggunanya pasokan listrik	A14
Karyawan baru atau dalam proses <i>training</i>	A5	Penumpukkan barang terlalu lama	A15
Kesalahan <i>input</i> data	A6	Tidak menerapkan sistem FIFO	A16
<i>Supplier</i> tidak dapat memenuhi kontrak dengan perusahaan	A7	Variasi produk tinggi	A17
Proses inspeksi tidak sempurna	A8	Kesalahan pemberian identitas barang	A18
Prosedur kerja kurang jelas	A9	Kecelakaan kerja pada operator	A19
Target produksi relatif tinggi	A10	Keterlambatan <i>update</i> data pada sistem Bravo	A20

2.2 Pengolahan Data

Setelah identifikasi dilakukan, selanjutnya melakukan *assessment* (penilaian) tingkat *severity* yaitu keparahan suatu *risk event* dan penilaian *occurrence* yaitu tingkat peluang terjadinya suatu *risk event* dengan masing-masing skala 1-10 (Shahin, 2004). Setelah itu dilakukan penilaian *relationship*, yaitu hubungan antara *risk event* dan *risk agent* berdasarkan nilai 1,3,9.

Tabel 4. HOR 1

Risk Events	Risk Agents					Si
	A1	A2	A3	A4	A5	
E1	R11	R12	R13	...	...	S1
E2	R21	R22	...	...	...	S2
E3	R31	...	...	...	...	S3
E4	...	...	...	...	...	S4
E5	...	...	...	...	...	S5
Oj	O1	O2	O3	O4	O5	O6
ARPj	ARP1	ARP2	ARP3	ARP4	ARP5	ARP6
Pj	P1	P2	P3	P4	P5	P6

Keterangan:

- E1,E2,...,En = *risk event* (kejadian resiko)
A1,A2,...,An = *risk agent* (agen resiko)
R11,R12,...,Rnm = *relationship* antara *risk agent* dan *risk event*
S1,S2,...,Sn = *severity risk event*
O1,O2,...,On = *occurrence risk agent*
ARPj = nilai Agen Potensial Resiko Agregat
P1,P2,...,Pn = peringkat *risk agent* berdasarkan nilai ARPj

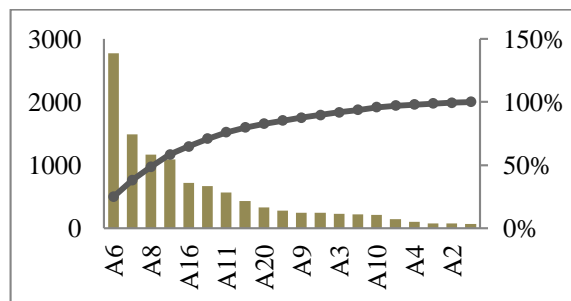
Rumus:

$$ARP_j = O_j \sum S_i R_{ij} \dots\dots\dots (1)$$

Tabel 5. Risk Agent berdasarkan ARP_j dan peringkat P_j

Kode	Risk Agent	ARP _j	P _j
A6	Kesalahan <i>input</i> data	2772	1
A13	Kelalaian tenaga kerja	1485	2
A8	Proses inspeksi tidak sempurna	1170	3
A17	Variasi produk tinggi	1092	4
A16	Tidak menerapkan sistem FIFO	720	5
A15	Penumpukkan barang terlalu lama	666	6
A11	Kesalahan <i>setup</i> dan <i>setting</i> mesin	567	7
A5	Karyawan baru atau dalam proses <i>training</i>	435	8
A20	Keterlambatan <i>update</i> data pada sistem Bravo	332	9
A7	<i>Supplier</i> tidak dapat memenuhi kontrak dengan perusahaan	279	10
A9	Prosedur kerja kurang jelas	246	11
A12	Kurangnya <i>maintenance</i> pada mesin produksi	246	12
A3	Kondisi lingkungan saat proses distribusi berjalan (hujan, dll)	234	13
A18	Kesalahan pemberian identitas barang	219	14
A10	Target produksi relatif tinggi	216	15
A14	Terganggunya pasokan listrik	144	16
A4	Pengabaian prosedur kerja oleh karyawan/operator	104	17
A19	Kecelakaan kerja pada operator	81	18
A2	Jarak tempuh jauh	78	19
A1	Miskomunikasi <i>Supplier</i> - Divisi <i>Purchasing</i> - Divisi SAC	72	20

Berdasarkan perhitungan *Aggregate Risk Potential* pada HOR 1 maka dibuat Diagram *Pareto* untuk mengetahui *risk agent* yang berpengaruh menyebabkan resiko pada sistem.



Gambar 1. Diagram Pareto HOR 1

Sesuai dengan prinsip Diagram *Pareto* 80 – 20, maka prioritas masalah yang harus diselesaikan adalah masalah dengan presentase sampai 80%, yaitu:

Tabel 6. Risk Agent Prioritas Berdasarkan Diagram Pareto

Code	Risk Agents	ARP _j
A6	Kesalahan <i>input</i> data	2772
A13	Kelalaian tenaga kerja	1485
A8	Proses inspeksi tidak sempurna	1170
A17	Variasi produk tinggi	1092
A16	Tidak menerapkan sistem FIFO	720
A15	Penumpukkan barang terlalu lama	666
A11	Kesalahan <i>setup</i> dan <i>setting</i> mesin	567
A5	Karyawan baru atau dalam proses <i>training</i>	435

Diagram *Pareto* mendapatkan terdapat 6 *risk agent* yang merupakan penyebab utama dalam kegiatan *Plant* L8. Berdasarkan *risk agent* yang didapatkan, maka terdapat *Preventive Action* yang dapat diaplikasikan dalam kegiatan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang terjadi dan kemudian dipetakan matriks korelasi antara *risk agent* dengan *preventive action* dalam HOR 2 sebagai berikut.

Tabel 7. Preventive Action yang Diusulkan

Code	Preventive Action
PA1	Improve sistem Bravo menjadi sistem <i>real time</i>
PA2	Perbaikan <i>layout coil</i> dan <i>layout</i> produk jadi
PA3	<i>Briefing</i> prosedur kerja mesin setiap rotasi kerja
PA4	Pendampingan intensif selama periode waktu tertentu (co: 1 minggu)
PA5	<i>Setup</i> mesin sesuai dengan <i>work effort</i> per <i>shift</i>
PA6	Penilaian performansi kinerja operator dan evaluasi harian operator
PA7	Tambahan fitur verifikasi pada sistem Bravo
PA8	Pemasangan SOP <i>quality check</i> per mesin

Tabel 8. HOR 2

To be treated risk agent (A _j)	Preventive Action (P A _k)					Aggregate Risk Potential (ARP _j)
	PA1	PA2	PA3	PA4	PA5	
A1	E11	E12	E13	...	...	ARP1
A2	E21	E22	...	...	...	ARP2
A3	E31	...	...	...	...	ARP3
A4	...	...	...	...	...	ARP4
A5	...	...	...	...	E _{jk}	ARP5
Total effectiveness of action -k		TE1	TE2	TE3	TE4	
Degree of difficulty performing action -k		D1	D2	D3	D4	
Effectiveness to difficulty ratio		ETD1	ETD2	ETD3	ETD4	
Rank priority		R1	R2	R3	R4	

Keterangan:

- A1,A2,...,A_n = risk agent dimitigasi
 PA1,PA2,...,P_n = aksi mitigasi yang akan dilakukan
 E11,E12,...,E_{nm} = relationship aksi mitigasi dan risk agent
 ARP1,ARP2,...,ARP_n = aggregate risk potential risk agent
 TE1,TE2,...,T_{En} = efektivitas total aksi mitigasi
 D1,D2,...,D_n = tingkat kesulitan aksi mitigasi
 ETD1,ETD2,...,ETD_n = total efektivitas dibandingkan dengan kesulitan
 R1,R2,...,R_n = peringkat masing-masing aksi dimulai dari ETD tertinggi.

Rumus:

$$TE_k = \sum_j ARP_j E_{jk} \dots\dots\dots (2)$$

$$ETD_k = \frac{TE_k}{D_k} \dots\dots\dots (3)$$

Berdasarkan hasil perhitungan *effectiveness to difficulty ratio* (ETD), maka didapatkan *Preventive Action* dengan urutan sebagai berikut.

Tabel 9. Prioritas Preventive Action bagi PT Tatalogam Lestari Plant L8

Prt.	Code	Preventive Action
1	PA7	Tambahan fitur verifikasi pada sistem Bravo
2	PA3	<i>Briefing</i> prosedur kerja mesin setiap rotasi kerja
3	PA6	Penilaian performansi kinerja operator dan evaluasi harian operator
4	PA2	Perbaikan <i>layout coil</i> dan <i>layout</i> produk jadi
5	PA8	Pemasangan SOP <i>quality check</i> per mesin
6	PA1	Improve sistem Bravo menjadi sistem <i>real time</i>
7	PA5	<i>Setup</i> mesin sesuai dengan <i>work effort</i> per <i>shift</i>
8	PA4	Pendampingan intensif selama periode waktu tertentu (co: 1 minggu)

Urutan prioritas ini kemudian memberikan arahan bagi perusahaan mengenai langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk mengatasi agen resiko dalam rangka pencegahan kejadian resiko pada proses di PT Tatalogam Lestari.

2.3 Analisis

Terdapat beberapa jenis resiko yang mungkin terjadi dalam sebuah perusahaan, salah satunya adalah resiko operasional. Resiko operasional merupakan resiko atau kerugian yang terjadi melalui operasi perusahaan yang mungkin disebabkan oleh sistem yang gagal, serangan teroris, dll. Dalam kasus ini, resiko yang diobservasi oleh penulis adalah resiko operasional yang terjadi karena sistem yang gagal, yaitu sistem yang telah dibentuk dan diimplementasikan dalam perusahaan, namun dalam operasinya terjadi kesalahan-kesalahan yang mengurangi produktivitas perusahaan.

Terdapat beberapa cara yang dapat dilakukan untuk melakukan pengukuran resiko operasional, diantaranya matriks frekuensi dan signifikansi kerugian, *Value at Risk* (VAR) operasional, *House of Risk* (HOR) Matriks, dan

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). Keempat metode ini memiliki fokus pengukuran yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan dan kesesuaiannya dengan kegiatan operasional yang sedang berjalan dalam perusahaan.

Matriks frekuensi dan signifikansi kerugian merupakan teknik pengukuran yang tidak melibatkan kuantifikasi rumit, yaitu dengan mengelompokkan risiko berdasarkan dua dimensi, yaitu frekuensi (jumlah) dan signifikansi (meyakinkan). Metode ini memiliki sistem komputasi yang mudah dipahami. Namun metode ini hanya menilai dari segi jenis risiko yang mungkin terjadi untuk menetapkan jenis risiko mana yang berada pada daerah berbahaya (frekuensi dan signifikansi tertinggi) untuk kemudian ditelaah agen risikonya dan dicari cara mitigasi. Dengan cara seperti ini, tidak menutup kemungkinan terdapat agen risiko yang dapat menyebabkan lebih dari satu kejadian risiko. Oleh karena itu, dengan mengetahui agen risiko yang notabene merupakan sumber risiko tersebut akan lebih efektif dalam mencegah terjadinya kejadian risiko.

Value at risk (VAR) menghitung risiko berdasarkan kerugian maksimum yang dapat terjadi pada suatu aset atau investasi pada periode tertentu dengan tingkat keyakinan tertentu. Pengukuran risiko jenis ini lebih cocok diaplikasikan dalam pertimbangan risiko perusahaan ketika ingin melakukan investasi aset perusahaan, seperti mesin produksi. Maka metode ini kurang tepat diaplikasikan dalam pengukuran risiko yang ingin dilakukan oleh perusahaan dalam rangka peralihan menuju ISO 9001:2015, sebab pemetaan risiko yang perlu dilakukan bukan hanya pada aset perusahaan tertentu saja, tetapi termasuk pula cara kerja operator, dan aspek-aspek lain yang kurang tepat diukur dengan metode VAR.

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan metode perhitungan risiko secara detail dalam hal kuantitatif karena masing-masing *failure mode* (kejadian risiko) yang ada dihitung berdasarkan *occurrence*, *severity*, dan *detection* yang menghasilkan urutan prioritas masalah (RPN). Perusahaan akan mendasarkan upaya mitigasi risiko operasional berdasarkan nilai RPN. Kelemahan dalam metode ini adalah bahwa penentuan cara mitigasi berdasarkan kejadian risiko yang diidentifikasi, bukan berdasarkan agen risiko yang pada dasarnya menyebabkan kejadiannya. Selain itu, agen risiko dapat menyebabkan lebih dari satu kejadian risiko ataupun sebaliknya kejadian risiko dapat disebabkan oleh lebih dari satu agen risiko; yang sebenarnya harus dijadikan dasar pertimbangan.

House of Risk menggabungkan metode FMEA dengan HOQ (*House of Quality*) menjadi sebuah perhitungan kuantitatif yang sederhana untuk memetakan risiko berdasarkan prioritasnya. Perhitungannya memang sederhana, namun metode ini memperhitungkan hal yang tidak diperhitungkan dalam FMEA, misalnya kemungkinan agen risiko yang menyebabkan lebih dari satu agen risiko atau sebaliknya kejadian risiko yang disebabkan oleh beberapa agen risiko. Metode ini memberi perhatian lebih kepada agen risiko, di mana rencana mitigasi (*preventive action*) didasarkan pada agen risiko prioritas. Setelah itu, akan dilakukan perhitungan urutan *preventive action* sebagai arahan bagi perusahaan untuk memperbaiki sistem operasional. Oleh karena itu, metode *house of risk* menjadi metode terbaru dalam melakukan pemetaan risiko dan rencana mitigasi risiko dalam perusahaan yang tepat diaplikasikan dalam observasi kegiatan operasional PT Tatalogam Lestari Plant L8.

Berdasarkan *risk agent's* yang menjadi prioritas masalah berdasarkan nilai *Aggregate Risk Potential* dan *Diagram Pareto*, maka terdapat beberapa *preventive actions* yang dapat dipertimbangkan untuk menjadi solusi permasalahan. Perhitungan pada Tabel HOR 2 telah memberi arahan mengenai prioritas aksi mitigasi yang sebaiknya dilakukan perusahaan.

3. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil melalui penelitian pada PT Tatalogam Lestari mengenai manajemen risiko perusahaan adalah:

1. Metode *House of Risk* merupakan metode terbaru dalam pemetaan risiko yang menggabungkan prinsip FMEA dan *House of Quality*, kelebihanannya adalah metode ini memperhitungkan kemungkinan kejadian risiko yang disebabkan oleh beberapa agen risiko dan agen risiko yang menyebabkan beberapa kejadian risiko yang tidak diperhitungkan oleh metode pemetaan risiko lain.
2. Risiko (*risk event*) yang teridentifikasi berpeluang timbul pada *supply chain* PT Tatalogam Lestari pada *Plant L8* yaitu pada aktivitas *source* terdapat 6 risiko, aktivitas *make* terdapat 10 risiko, dan pada aktivitas *delivery* terdapat 5 risiko.
3. Agen risiko (*risk agent*) pada *supply chain* PT Tatalogam Lestari *Plant L8* teridentifikasi sebanyak 20, yang kemudian diprioritaskan berdasarkan nilai ARP sebanyak 8 *risk agent*, yaitu kesalahan *input* data (A6), kelalaian tenaga kerja (A13), proses inspeksi tidak sempurna (A8), variasi produk tinggi (A17), tidak menerapkan sistem FIFO (A16), penumpukkan barang terlalu lama (A15), kesalahan *setup* dan *setting* mesin (A11), dan karyawan baru ayau dalam proses *training* (A5).
4. Strategi mitigasi atau pencegahan yang diprioritaskan untuk mencegah penyebab risiko adalah (sesuai urutan) tambahan fitur verifikasi, *briefing* prosedur kerja mesin setiap rotasi kerja, penilaian performansi kinerja operator dan evaluasi harian operator, perbaikan *layoutcoil* dan *layout* produk jadi, pemasangan SOP *quality check* per mesin, *improve* sistem Bravo menjadi sistem *real time*, *setup* mesin sesuai dengan *work effort* per *shift*, dan pendampingan intensif selama periode waktu tertentu.

PUSTAKA

- Anwar, S. N. 2013. Retrieved Januari 7, 2018, from
<http://www.unisbank.ac.id/ojs/index.php/fti2/article/download/1315/531>
- Fahmi, I. 2010. *Manajemen Kinerja*. Bandung: Alfabet.
- Hanafi. 2006. *Manajemen Risiko Operasional*. Jakarta: Pendidikan dan Pembinaan Manajemen.
- Paul, J. 2014. *Transformasi Rantai Suplai dengan Model SCOR*. Jakarta: PPM Manajemen.
- Pujawan, I. N. 2005. *Supply Chain Management*. Surabaya: PT Guna Widya.
- Pujawan, I. N., & Geraldin, L. 2009. House of risk: a model for proactive supply chain risk management. *Business Process Management Journal* 15 , 953-967.
- Salazar, F., Caro, M., & Cavazos, J. 2012. Final Review of the Application of the SCOR Model: Supply Chain for Biodiesel Castor – Colombia Case. *Journal of Technology Innovation in Renewable Energy* , 39-47.
- Shahin, A. 2004. Integration of FMEA and the Kano model: An exploratory examination". *International Journal of Quality & Reliability Management*, 21 (7), 731-746.

PERANCANGAN ALAT BANTU UNTUK MENGANGKUT KACANG KEDELAI (STUDI KASUS DI CV. Z)

Luizinho Antonio Ximenes Moreira, Julius Mulyono, Hadi Santosa
Jurusan Teknik Industri, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
E-mail : juliusnyamulyono@ukwms.ac.id

ABSTRAK

CV. Z adalah sebuah perusahaan di Surabaya yang memproduksi makanan tahu dan lainnya, dengan bahan dasar kedelai. Salah satu aktivitas pekerja adalah mengangkat kedelai menggunakan wadah berkapasitas 18 Kg, tanpa bantuan alat angkut. Aktivitas ini dilakukan secara berulang, sehingga menimbulkan keluhan sakit di bagian tangan, kaki dan punggung pekerja. Perancangan alat angkut kacang kedelai dapat mengurangi rasa sakit tersebut, dan mengurangi waktu proses. Alat angkut didesain sedemikian, sehingga memungkinkan proses penimbangan kedelai dilakukan bersamaan dengan proses *loading* kedelai. Selain mencapai ukuran yang lebih teliti, hal ini dapat menghemat waktu proses pengangkutan sekitar 14 menit. Data antropometri digunakan untuk mencapai kondisi ergonomis, bermanfaat mengurangi kelelahan pekerja.

Kata kunci : alat, angkut, ergonomis.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

CV.Z adalah perusahaan yang bergerak di bidang makanan, memproduksi tahu. Bahan dasar yang digunakan untuk membuat tahu adalah kacang kedelai. Dalam proses pembuatan tahu ada beberapa tahapan yang dilakukan, dimulai dari bahan baku (kacang kedelai), perendaman, penyaringan kacang kedelai, penggilingan, pemasakan, penyaringan, pengadukan, pengendapan, pencetakan, pengepresan dan pemotongan. Setelah melakukan pengamatan pada proses pembuatan tahu terdapat suatu proses yang membutuhkan waktu yang cukup lama serta menimbulkan tingkat kelelahan dan kesakitan pada bagian tubuh pekerja. Proses produksi tersebut adalah mengangkat kacang kedelai. Pengangkutan kacang kedelai dilakukan secara manual dengan mengangkat kacang kedelai seberat 18 Kg yang akan dipindahkan ke proses perendaman. Pekerja melakukan aktivitas pengangkutan ini bolak-balik untuk mengangkat kacang kedelai yang sudah terisi di dalam wadah. Selain itu pekerja tersebut harus membungkuk saat melakukan proses timbang kacang kedelai dengan berat 18 Kg tersebut. Mesin untuk proses penggilingan berkapasitas 18 Kg kacang kedelai; dan secara bersamaan dilakukan proses pencampuran kacang kedelai lokal dan kacang kedelai impor. Kapasitas mesin giling ini menjadi acuan dalam menentukan jumlah kedelai yang diangkut, yaitu 18 Kg.

1.2. Landasan Teori

Menurut Wignjosoebroto (2008), antropometri adalah studi yang berkaitan dengan pengukuran dimensi tubuh manusia. Bidang antropometri meliputi berbagai ukuran tubuh manusia seperti berat badan, posisi ketika berdiri, ketika merentangkan tangan, lingkaran tubuh, panjang tungkai, dan sebagainya. Data antropometri yang menyajikan data ukuran dari berbagai macam anggota tubuh manusia dalam persentil tertentu akan sangat bermanfaat pada suatu rancangan produk yang akan dibuat. Agar rancangan suatu produk nantinya bisa sesuai dengan ukuran tubuh manusia yang akan mengoperasikannya, maka prinsi-prinsip yang harus diambil di dalam aplikasi data antropometri tersebut harus diterapkan terlebih dahulu seperti yang diuraikan berikut ini :

- Prinsip perancangan produk bagi individu dengan ukuran yang ekstrim.
- Prinsip perancangan produk yang bisa dioperasikan di antara rentang ukuran tertentu. Rancangan produk dapat diubah ukurannya dengan fleksibel untuk dioperasikan oleh setiap orang yang memiliki berbagai macam ukuran tubuh.
- Prinsip perancangan produk dengan ukuran rata-rata.

Berkaitan dengan aplikasi data antropometri yang diperlukan dalam proses perancangan produk maka ada beberapa rekomendasi yang dapat diberikan sesuai dengan langkah-langkah berikut :

- Pertama harus terlebih dahulu menetapkan anggota tubuh yang akan difungsikan untuk pengoperasian rancangan produk.
- Tentukan dimensi tubuh yang penting dalam proses perancangan tersebut.
- Tentukan populasi terbesar yang harus diantisipasi, diakomodasikan dan menjadi target utama pemakaian rancangan produk tersebut.
- Tetapkan prinsip ukuran yang harus diikuti.

- Menentukan persentil untuk ukuran produk.
- Menambahkan faktor kelonggaran (*allowance*) yang diperlukan.

Nurmianto (1996) memberikan referensi dimensi tubuh manusia yang dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan ukuran bagian-bagian produk yang dirancang, seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Data antropometri masyarakat Indonesia (dalam mm)

No	Dimensi Tubuh	Persentil		
		Ke-5	Ke-50	Ke-95
1	Tinggi tubuh posisi berdiri tegak	1464,0	1597,5	1732,0
2	Tinggi mata	1350,0	1483,0	1615,0
3	Tinggi bahu	1184,0	1305,0	1429,0
4	Tinggi siku	886,0	980,0	1074,0
5	Tinggi genggam tangan pada posisi relaks ke bawah	646,0	713,0	782,0
6	Tinggi badan pada posisi duduk	775,0	849,0	919,0
7	Tinggi mata pada posisi duduk	666,0	735,0	804,0
8	Tinggi bahu pada posisi duduk	501,0	561,0	621,0
9	Tinggi siku pada posisi duduk	175,0	230,0	283,0
10	Tebal paha	115,0	140,0	165,0
11	Jarak dari pantat ke lutut	488,0	541,0	590,0
12	Jarak dari lipat lutut ke pantat	405,0	493,5	586,0
13	Tinggi lutut	428,0	484,0	544,0
14	Tinggi lipat lutut	337,0	392,5	445,0
15	Lebar bahu	342,0	404,5	466,0
16	Lebar panggul	291,0	338,0	392,0
17	Tebal dada	174,0	220,0	278,0
18	Tebal perut	174,0	229,5	278,0
19	Jarak dari siku ke ujung jari	374,0	424,0	473,0
20	Lebar kepala	135,0	148,0	160,0
21	Panjang tangan	153,0	172,0	191,0
22	Lebar tangan	64,0	75,0	87,0
23	Jarak bentang dari ujung jari tangan kiri ke kanan	1400,0	1593,0	1806,0
24	Tinggi pegangan tangan pada posisi tangan vertikal ke atas dan berdiri tegak	1713,0	1882,0	2051,0
25	Tinggi pegangan tangan pada posisi tangan vertikal ke atas dan duduk	945,0	1099,5	1273,0
26	Jarak genggam tangan ke punggung pada posisi tangan ke depan	610,0	684,5	767,0

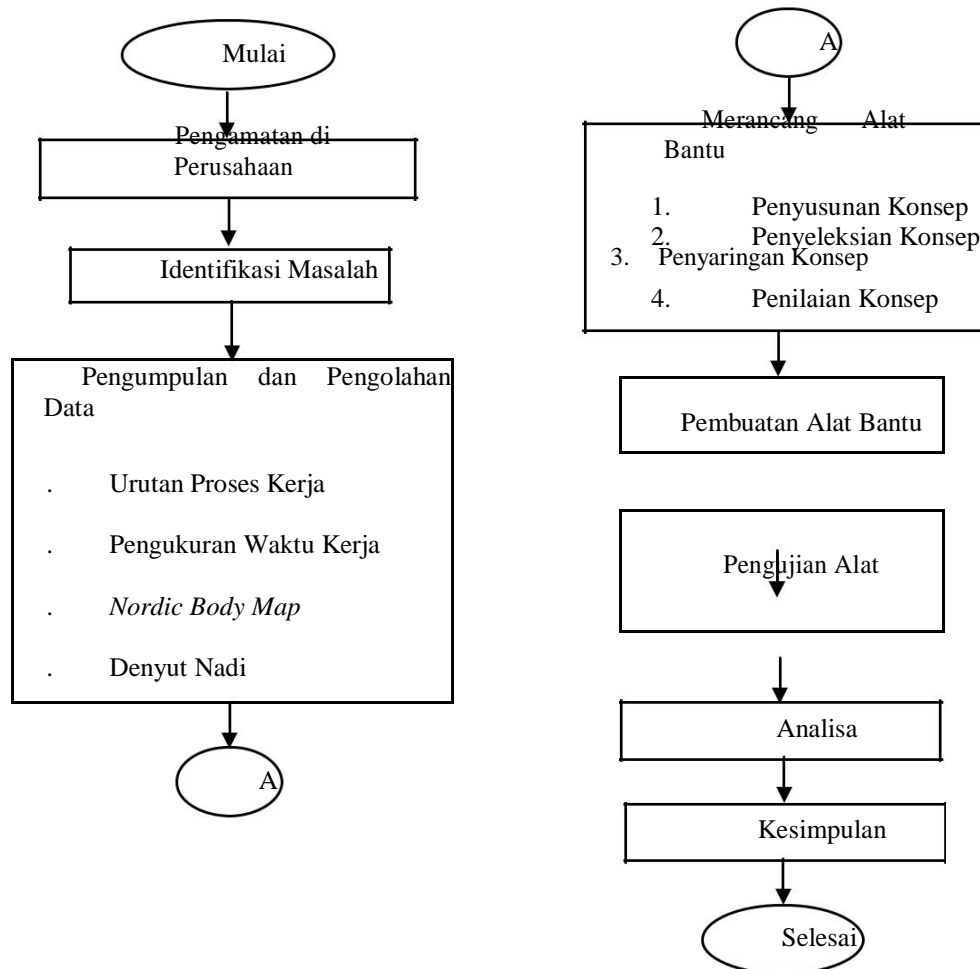
Perancangan adalah suatu proses yang bertujuan untuk menganalisis, menilai memperbaiki dan menyusun suatu sistem, baik sistem fisik maupun non-fisik yang optimum untuk waktu yang akan datang dengan memanfaatkan informasi yang ada (Kristyanto, 1999). Langkah awal dalam perancangan adalah pengumpulan data, yang dapat dilakukan dengan:

- a. Wawancara. Satu atau lebih anggota tim pengembang berdiskusi mengenai kebutuhan dengan seorang pelanggan. Wawancara dilakukan di lingkungan pelanggan.
- b. Mengobservasi produk. Mengamati pelanggan yang menggunakan produk. Observasi merupakan proses yang pasif, tanpa ada interaksi langsung ataupun kerja-sama dalam menggunakan produk dengan pelanggan. Pelanggan bisa dipilih dari pelanggan utama. Pelanggan ini sering disebut sebagai sumber penting karena mereka sering dapat menyatakan keinginan yang baru (muncul). Beberapa panduan yang sering digunakan untuk wawancara, seperti :
 1. Apa yang Anda sukai dari produk yang ada saat ini?
 2. Apa keluhan Anda dari produk yang ada saat ini?
 3. Apa perbaikan yang ingin Anda buat pada produk ini?

Langkah berikutnya adalah penyusunan konsep. Penyusunan konsep (*generate product concept*) merupakan gambaran singkat produk dapat memuaskan kebutuhan pelanggan. Proses penyusunan konsep dimulai dengan serangkaian kebutuhan pelanggan dan spesifikasi target dan diakhiri dengan terpilihnya beberapa konsep produk sebagai sebuah pilihan akhir.

1.3. Metodologi Penelitian

Secara umum metodologi penelitian adalah langkah-langkah penyelesaian masalah yang dilakukan secara bertahap dan sistematis dengan menggunakan metode ilmiah. Gambar 1 berikut berisi tahapan yang dilakukan sehingga penelitian dapat berjalan dengan baik.



Gambar 1. Langkah-langkah perancangan alat angkut kedelai

Langkah pertama yang dilakukan adalah pengamatan aktivitas pekerja di perusahaan, yaitu yang berkaitan dengan pemindahan kacang kedelai. Dari pengamatan, diketahui ada permasalahan pada proses mengangkat kacang kedelai. Metode kerja yang dilakukan pekerja pada saat mengangkat kacang kedelai kurang efektif dan efisien. Pada aktivitas ini terdapat gerakan berulang yang sering dilakukan pekerja. Hal ini mengakibatkan waktu proses kerja yang cukup panjang, serta dapat menimbulkan kelelahan dan rasa kesakitan. Oleh sebab itu perlu adanya perbaikan metode kerja yang benar agar proses mengangkat kacang kedelai dapat berjalan dengan lebih cepat, mengurangi kelelahan dan rasa sakit. Selanjutnya dilakukan pengumpulan dan pengolahan data, yaitu:

1. Membuat urutan proses kerja.
2. Perhitungan waktu kerja.
3. Wawancara secara langsung dengan pekerja pada bagian pengangkutan kacang kedelai.

Tahap perancangan dan pembuatan alat angkut sesuai dengan urutan yang ada pada Epingger (2001). Tahapan berikutnya adalah pengujian dan analisa. Pada tahap ini, alat yang sudah dibuat digunakan secara langsung untuk mengangkat kacang kedelai. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui lama waktu pekerjaan (pengangkutan). Selain itu, dilakukan pengukuran denyut nadi, yang bertujuan untuk mengetahui tingkat konsumsi energi. Jumlah energi yang dikeluarkan berbanding lurus dengan denyut nadi. Menggunakan alat angkut yang dirancang, diharapkan waktu pengangkutan menjadi lebih singkat, sekaligus mengurangi peningkatan denyut nadi (setelah proses pengangkutan). Analisa yang dilakukan menyangkut penghematan waktu kerja dan konsumsi energi. Selain itu, juga dilakukan analisa terhadap kelayakan biaya pengadaan alat angkut tersebut.

2. PEMBAHASAN

2.1. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengumpulan data dimulai dengan pengamatan proses pengangkutan kedelai. Pengangkutan dilakukan secara manual, kedelai seberat 18 Kg pada wadah plastik, diangkut tanpa alat. Waktu pengangkutan kedelai diperoleh melalui beberapa pengukuran, yaitu sekitar 27 menit. Data pengukuran ada pada tabel 2.

Tabel 2. Data waktu kerja

Pengamatan ke-	Waktu pengangkutan kacang kedelai (menit)	Rata-Rata
1	27.45	
2	26.39	
3	27.55	
4	26.20	26.95
5	26.56	
6	27.53	

Data berikutnya adalah denyut nadi pekerja, yang diukur sebelum dan setelah melakukan pengangkutan, seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Denyut nadi pekerja pengangkut kacang kedelai (tanpa alat angkut)

No	Nadi sebelum kerja	Nadi sesudah kerja
	(denyut per menit)	(denyut per menit)
1	74	104
2	72	100
3	70	98
4	70	101
5	72	100
6	72	98
Rata-rata	71,67	100,67

Data kelelahan diperoleh melalui wawancara dengan pekerja, menggunakan *nordic body map*. Pekerja menunjuk bagian tubuh yang sakit, serta memberitahu tingkat rasa sakitnya. Hasil wawancara diperoleh rasa sakit meliputi bagian tangan, kaki dan punggung. Selain data kuantitatif di atas, juga diperoleh informasi kebutuhan alat angkut yang akan dirancang, seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Pernyataan pekerja akan kebutuhan alat angkut

No	Kebutuhan Pekerja	Kepentingan	Keterangan
1	Alat bantu yang dapat mengurangi kelelahan	5	Skala 1 - 5
2	Alat bantu yang tahan lama	4	
3	Alat bantu dengan biaya operasional yang rendah	5	5 : sangat penting
4	Alat bantu yang mudah dalam penggunaannya	4	

2.2. Perancangan dan Pembuatan Alat Angkut

Perancangan dimulai dengan penyusunan konsep. Ada tiga konsep awal, yaitu:

1. Konsep A: beroda, mampu membawa empat wadah kedelai (@ 18 Kg).
2. Konsep B: beroda, terdiri dari dua susun, mampu membawa 8 wadah kedelai (@ 18 Kg).
3. Konsep C: beroda, mampu membawa empat wadah kedelai (@ 18 Kg) dan dilengkapi dua timbangan.

Gambar 2 memuat sketsa dari ketiga konsep awal tersebut.



Gambar 2. Konsep Alat Angkut

Alat angkut yang sudah dibuat, selanjutnya diuji-coba dengan menggunakannya untuk mengangkut kedelai. Pada gambar 5 terlihat penggunaan alat yang dimulai dengan persiapan, dilanjutkan dengan proses penimbangan. Proses penimbangan dilakukan secara langsung di atas alat angkut, sebanyak dua wadah masing-masing 18 Kg. Setelah penimbangan dua wadah, keduanya digeser ke arah belakang dengan cara menarik bagian pegangan pemindah wadah. Hal ini dilakukan agar dapat dilanjutkan dengan penimbangan untuk dua wadah berikutnya. Proses pengangkutan dilakukan sekaligus untuk empat wadah, masing-masing seberat 18 Kg.

Proses penimbangan dilakukan di atas alat angkut dapat mempersingkat waktu kerja. Pada saat penimbangan, kedelai yang ditempatkan pada keempat wadah langsung berada di atas timbangan (langsung ditimbang). Proses pengangkutan dilakukan setelah proses penimbangan, tidak lagi memindahkan dari atas timbangan. Peletakkan timbangan diatur sedemikian rupa, sehingga monitor atau tampilan jarum timbangan mudah dilihat. Hal ini juga memudahkan proses penimbangan, yang sekaligus mempersingkat waktu kerja.



(a) Persiapan



(b) Proses penimbangan



(c) Penggeseran wadah-penimbangan berikutnya



(d) Pengangkutan empat wadah

Gambar 5. Penggunaan alat angkut

2.3. Analisa

2.3.1. Analisa Waktu Kerja

Proses pengangkutan kedelai menggunakan alat angkut yang dirancang dilakukan sekaligus dengan proses penimbangan. Proses penimbangan dilakukan dengan timbangan yang ada di alat angkut. Wadah kedelai tidak perlu dipindahkan. Sedangkan pada proses sebelumnya, 18 Kg kedelai ditimbang dahulu di alat timbangan tersendiri, kemudian diangkut ke proses selanjutnya (proses perendaman). Keuntungan yang diperoleh dalam penggunaan alat angkut ini adalah penghematan waktu karena proses penimbangan dilakukan langsung di atas alat angkut. Tentu saja, hal ini juga mengurangi kebutuhan energi (karena tidak perlu mengangkat dari timbangan).

Dilakukan pengukuran aktivitas penimbangan dan pengangkutan empat wadah kedelai, masing-masing 18 Kg. Tabel 5 berisi data waktu pengukuran pengangkutan empat wadah kedelai (masing-masing 18 Kg), sekaligus

proses penimbangannya. Terlihat pada tabel tersebut, rata-rata waktu pengangkutan sekitar 13 menit. Waktu pengangkutan ini berbeda secara signifikan dengan angka sebelumnya (pengangkutan tanpa alat), disebabkan oleh dua hal. Pertama, proses penimbangan dilakukan di atas alat angkut, sehingga tidak perlu waktu untuk pemindahan dari/ke alat timbangan. Kedua, dengan alat angkut yang beroda, maka proses pengangkutan atau pemindahan menjadi lebih mudah dan lebih cepat.

Tabel 5. Data waktu kerja menggunakan alat angkut

Pengamatan ke-	Waktu pengangkutan kacang kedelai (menit)	Rata-Rata
1	12.34	
2	13.56	
3	12.20	
4	12.47	12.86
5	13.42	
6	13.18	

2.3.2. Analisa Konsumsi Energi

Penggunaan alat angkut juga bertujuan untuk mempermudah pekerjaan. Hal ini akan terlihat dari konsumsi energi pekerja, yang pengukurannya menggunakan pendekatan dengan persamaan:

$$Y = 1.80411 - 0.0229038 X + 4.71733 \cdot 10^{-4}$$

X² dengan Y: energi (Kilokalori per menit)

X: kecepatan denyut jantung (denyut per menit)

Tabel 6 berisi data pengukuran denyut nadi pekerja pengangkut kedelai, yang dikerjakan menggunakan alat angkut yang sudah dirancang.

Tabel 6. Denyut nadi pekerja pengangkut kacang kedelai (dengan alat angkut)

No	Nadi sebelum kerja (denyut per menit)	Nadi sesudah kerja (denyut per menit)
1	73	85
2	72	89
3	70	84
4	71	89
5	72	87
6	70	86
Rata-rata	71,67	86,83

Berdasarkan tabel 3 dan tabel 6, maka dapat dihitung konsumsi energi proses pengangkutan, baik yang tanpa alat angkut, maupun yang menggunakan alat angkut yang dirancang. Menggunakan persamaan di atas, diperoleh konsumsi energi ketika menggunakan alat angkut adalah 0,782 Kilokalori/menit. Sedangkan konsumsi energi untuk pengangkutan sebelumnya (tanpa alat angkut) adalah 1,702 Kilokalori/menit. Dengan demikian, terdapat penghematan energi sebesar 0,92 Kilokalori/menit.

2.3.3. Analisa Biaya

Analisa biaya dilakukan dengan tujuan mengetahui kelayakan pengadaan alat angkut tersebut, dari sisi finansial. Langkah awal yang dilakukan adalah menghitung biaya yang diperlukan untuk pengadaan alat angkut tersebut. Dengan mengetahui biaya yang dimaksud, dilakukan perhitungan pendekatan untuk mengetahui *payback period*-nya. Pengadaan alat angkut membutuhkan dana sebesar Rp.3.756.000 dengan komponen biaya:

- Pengadaan timbangan kapasitas 100 Kg.
- Roda diameter 23 cm.
- Besi siku dan pipa roll.
- Mur-baut berbagai ukuran.
- Proses pemessinan (pemotongan, pembentukan, pengelasan dll.)

Penghitungan *payback period* dilakukan dengan pendekatan sbb.:

a. *Saving* yang diperoleh apabila menggunakan alat angkut:

Penghematan waktu pengangkutan adalah 14 menit per sekali angkut.

Asumsi: upah pekerja Rp.100.000/hari = Rp.208/menit. Keterangan: sehari bekerja 8 jam.

Asumsi: proses pengangkutan dilakukan lima kali sehari. Keterangan: kapasitas produksi ± 400 Kg per hari. *Saving* = 14 * Rp.208 * 5

= Rp. 14.560 / hari

b. *Payback period*

= Rp.3.756.000 / Rp. 14.560

= 258 hari kerja atau sekitar 1 tahun.

3. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Alat angkut kedelai sudah dibuat dan dapat digunakan.
2. Penghematan waktu kerja dengan alat angkut adalah sekitar 14 menit per sekali pengangkutan.
3. Penggunaan alat angkut mempermudah pekerjaan, dengan penghematan energi sekitar 0,92 Kilokalori per menit.
4. Pendekatan perhitungan biaya pembuatan alat angkut, *payback period*-nya sekitar satu tahun.

PUSTAKA

Ulrich K.T., Eppinger S.D, "*Product Design and Development*", Irwin McGraw Hill, 2001.

Nurmianto, Eko, "*Ergonomi, Konsep Dasar dan Aplikasinya*", Edisi Pertama, Gunawidya, 1998.

Wignjosuebrotto, Sritomo, "Ergonomi - Studi Gerak dan Waktu" Gunawidya, 2008.

Kristyanto, Bernadus, "Kontribusi Ergonomi untuk Rancangan Perakitan", Jurnal Teknologi Industri Vol. 3 No. 1, 1999.

IMPLEMENTASI ALGORITMA K-MEANS DAN C4.5 DALAM MENGIDENTIFIKASI DIABETES INSIPIDUS PADA USIA PRODUKTIF. STUDI KASUS: MAHASISWA UNIKA DE LA SALLE MANADO

Apriandy Angdresey¹, Jeniver Matruty²

^{1,2} Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Katolik De La Salle
Manado 95000, Indonesia

E-mail: aangdresey@unikadelasalle.ac.id¹, 14013034@unikadelasalle.ac.id²

ABSTRAK

Diabetes is a killer disease that has the highest mortality rate in Indonesia. This disease is the entrance to other dangerous diseases, such as heart, stroke, etc. Diabetes can be detected and prevented early on. Diabetes is divided into two major groups, namely diabetes mellitus and diabetes insipidus. In this study, the authors will identify the possibility indicated diabetes insipidus disease outside diabetes insipidus gestational at the productive age that is among the students. In this study, the authors propose a combined method that is by integrating k-means and C4.5 algorithm. By using k-means algorithm of grouping the symptoms that are often experienced, then identify the type of diabetes using C4.5. The results obtained quite well where the accuracy of the algorithm proposed by the author is 98.16% with the execution time 0.02 Sec.

Keywords: K-means and C4.5, diabetes insipidus, productive age.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kesehatan merupakan satu-satunya harta yang paling berharga bagi manusia. Kesehatan dapat mengancam setiap orang tanpa terkecuali, hal ini dapat disebabkan oleh berbagai serangan penyakit, baik itu akut ataupun kronis, keduanya dapat menimbulkan kematian. Saat ini di Indonesia penyakit tertinggi yang sering diderita oleh masyarakat yaitu *Cerebrovaskular* atau yang biasa dikenal dengan penyakit pembuluh darah di otak, seperti yang terjadi pada penderita stroke. Selanjutnya penyakit jantung dan penyakit diabetes merupakan penyakit kedua yang sering diderita oleh masyarakat Indonesia [1]. Selain itu, diabetes juga merupakan penyakit yang memiliki angka kematian tertinggi di Indonesia. Penyakit ini adalah pintu masuk bagi penyakit berbahaya lainnya, seperti jantung, stroke, dll. Diabetes dapat diketahui dan dicegah sejak dini.

Diabetes adalah salah satu penyakit berbahaya. Dampak terbesar dari diabetes adalah kematian, untuk itu perlunya pengenalan tanda dan gejala diabetes, setelah pengenalan tanda dan gejala maka akan diketahui jenis diabetes yang diderita. Pengelompokan jenis diabetes sangatlah perlu untuk diketahui, agar mahasiswa dapat mengetahui cara yang benar untuk mengatur pola makan, kebiasaan, bahkan pengobatan yang akan dilakukan. Diabetes terbagi dalam dua kelompok besar yaitu diabetes melitus (DM) dan diabetes insipidus (DI). DM biasanya ditandai dengan naiknya kadar gula darah di atas rata-rata atau tidak normal [2], sedangkan DI tergolong pada kondisi yang cukup langka, dimana penderita DI selalu merasa haus, dengan demikian penderita DI akan sering membuang air kecil dengan jumlah yang banyak.

Pada penelitian ini, DI [3] merupakan penyakit yang sering terindikasi pada anak muda. DI terjadi karena adanya gangguan pada hormon antidiuretik (*antidiuretic hormone/ADH*), yang mengatur jumlah cairan dalam tubuh. DI cenderung ditemukan pada usia produktif bahkan sampai pada anak kecil, DI juga berbahaya karena menyerang daerah kelenjar hipotalamus dan pituitari, yang dapat menyebabkan kematian. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengidentifikasi kemungkinan akan terindikasinya penyakit DI pada usia produktif, tapi untuk DI gestasional tidak akan diprediksi karena data sampel diambil dari mahasiswa dan mahasiswi yang tidak sedang mengandung atau hamil.

DI memiliki empat tipe yaitu DI kranial, DI nefrogenik, DI dispogenik, dan DI gestasional [3]. DI kranial adalah DI yang paling umum terjadi, karena kurangnya hormon antidiuretik dari kelenjar hipotalamus, dan kerusakan yang diakibatkan dari infeksi, operasi, cedera otak atau tumor otak, akibatnya tubuh menjadi semakin sedikit dalam memproduksi urine. DI nefrogeik adalah DI yang muncul ketika tubuh memiliki hormon antidiuretik yang cukup untuk mengatur urine, tapi organ ginjal tidak merespons dengan baik, penyebabnya adalah kerusakan fungsi organ ginjal atau kondisi keturunan dan juga pemakaian obat-obatan pada riwayat kesehatan sebelumnya. DI dispogenik atau polipidisia primer adalah jenis diabetes yang diakibatkan dari konsumsi cairan air yang berlebihan, dan menimbulkan kerusakan pada ginjal, serta dikarenakan oleh gangguan penyakit mental. DI gestasional adalah jenis

DI yang hanya menyerang wanita hamil, karena DI gestasional hanya menyerang pada saat kehamilan, setelah itu akan menghilang dengan sendirinya.

1.2 Tinjauan Pustaka

Gaya hidup yang kurang sehat mengakibatkan munculnya berbagai macam penyakit. Salah satunya akibat dari gaya hidup yang kurang baik adalah terindikasi penyakit diabetes. Menjaga kesehatan agar tidak terindikasi diabetes, menjadi suatu keharusan. Maka dari itu dilakukan pengidentifikasian data rekam medis penyakit diabetes di Balai Kesehatan Kementerian Perindustrian Jakarta [4]. Hasil akurasi yang didapatkan dengan menggunakan algoritma *ID3* adalah sebesar 72,619% dengan jumlah *data training* sebanyak 416 data dan 84 *data testing*.

Salah satu faktor keakuratan sebuah prediksi adalah terdapat pada pemilihan atribut yang tepat. Maka dari itu, pada penelitian [5], digunakan metode seleksi atribut *Correlation Based Feature Selection (CBFS)* dan *Information Gain (IG)* untuk meningkatkan performa prediksi menggunakan algoritma *ID3*. Hasil yang didapatkan dari penggunaan metode *CBFS* dan *IG* terhadap algoritma *ID3* adalah *CBFS* memiliki performa yang lebih tinggi dengan nilai akurasi 84,77; *sensitivity* 87,18; dan *specifizity* 82,37 dengan menghasilkan 5 atribut.

Diabetes menjadi ancaman terbesar bagi manusia, baik untuk era mendatang maupun sekarang ini. Dengan menggunakan teknik *data mining*, dokter dapat menghemat waktu dalam hal pengambilan kesimpulan diagnosa. Terutama pada pasien yang sedang dalam keadaan kritis. Data pada penelitian [6], diambil dari 768 wanita asal India.

2. PEMBAHASAN

Penyebab umum dari diabetes insipidus (DI) adalah menurunnya produksi hormon antidiuretik (ADH) oleh hipotalamus atau meningkatnya produksi ADH oleh pituitari, yang membahayakan kinerja ginjal untuk mengolah urine. $DI = 3$; $DI = \{DI_k, DI_n, DI_d\}$ dimana DI_k merupakan DI yang menyerang kepala yang berdampak pada rusaknya kelenjar hipotalamus, DI_k memiliki tanda dan gejala seperti sering haus yang berlebihan, rasa lapar atau selera makan yang sering terganggu, tidur yang tidak cukup, memiliki suasana hati yang berubah-ubah, dan suhu tubuh yang sering tidak normal, serta memiliki emosi yang tidak stabil. Sedangkan DI_n merupakan DI yang diakibatkan oleh ketidakmampuan ginjal, untuk menampung hormon antidiuretik dan mengatur produksi urine. DI_k memiliki tanda dan gejala seperti mengalami peningkatan urine ketika ginjal gagal mengolah urine tersebut, dan memiliki riwayat luka yang lama sembuh. Sedangkan DI_d merupakan DI yang disebabkan oleh konsumsi cairan air yang berlebihan, dan menimbulkan kerusakan pada ginjal. DI_d memiliki tanda dan gejala seperti mengalami sulit berkonsentrasi, berat badan yang berlebihan, serta haus berlebihan yang menyebabkan kerusakan pada ginjal.

2.1 Atribut

Jenis kelamin (JK_n), $n = 2$; $JK = \{JK_1, JK_2\}$, dimana JK_1 merupakan laki-laki dan JK_2 merupakan perempuan. Umur (U_n), $n = 3$; $U = \{U_1, U_2, U_3\}$, dimana U_1 merupakan mahasiswa yang berumur 16 tahun sampai 18 tahun, U_2 merupakan mahasiswa yang berumur 19 tahun sampai 21 tahun, sedangkan U_3 merupakan mahasiswa yang berumur 22 tahun sampai 24 tahun. Haus berlebihan (HB_n), $n = 3$; $HB = \{HB_1, HB_2, HB_3\}$, dimana HB_1 merupakan pilihan tidak, HB_2 merupakan pilihan terkadang, HB_3 merupakan pilihan ya. Buang air kecil (BAK_n), $n = 3$; $BAK = \{BAK_1, BAK_2, BAK_3\}$, dimana BAK_1 merupakan 4 sampai 8 kali buang kecil, BAK_2 merupakan 8 sampai 12 kali buang air kecil, sedangkan BAK_3 merupakan > 12 kali buang air kecil. Keturunan diabetes (KD_n), $n = 2$; $Kd = \{Kd_1, Kd_2\}$, dimana Kd_1 merupakan pilihan tidak, dan Kd_2 merupakan pilihan ya. Riwayat luka lama sembuh ($RLLS_n$), $n = 2$; $RLLS = \{RLLS_1, RLLS_2\}$, dimana $RLLS_1$ merupakan pilihan tidak, dan $RLLS_2$ merupakan pilihan ya. Diabetes (D_n), $n = 3$; $D = \{D_1, D_2, D_3\}$, dimana D_1 merupakan pilihan tidak, D_2 merupakan pilihan terkadang, sedangkan D_3 merupakan pilihan ya. Kurang tidur (KT_n), $n = 3$; $KT = \{KT_1, KT_2, KT_3\}$, dimana KT_1 merupakan pilihan tidak, KT_2 merupakan pilihan terkadang, sedangkan KT_3 merupakan pilihan ya. Mudah marah (MM_n), $n = 3$; $MM = \{MM_1, MM_2, MM_3\}$, dimana MM_1 merupakan pilihan tidak, MM_2 merupakan pilihan terkadang, sedangkan MM_3 merupakan ya. Sulit berkonsentrasi (SB_n), $n = 3$; $SB = \{SB_1, SB_2, SB_3\}$, dimana SB_1 merupakan pilihan tidak, sedangkan SB_2 merupakan pilihan ya. Mudah lelah (ML_n), $n = 3$; $ML = \{ML_1, ML_2, ML_3\}$, dimana ML_1 merupakan pilihan tidak, ML_2 merupakan pilihan terkadang, sedangkan ML_3 merupakan pilihan tidak. Suhu tubuh (ST_n), $n = 3$; $ST = \{ST_1, ST_2, ST_3\}$, dimana ST_1 merupakan pilihan tidak, ST_2 merupakan pilihan terkadang, sedangkan ST_3 merupakan pilihan ya. Selera makan (SMN_n), $n = 2$; $SMN = \{SMN_1, SMN_3\}$, dimana SMN_1 merupakan tidak normal, sedangkan SMN_2 merupakan normal. Menangis yang berlebihan (MB_n), $n = 3$; $MB = \{MB_1, MB_2, MB_3\}$, dimana MB_1 merupakan pilihan tidak, MB_2 merupakan pilihan terkadang, sedangkan MB_3 merupakan pilihan ya. Jenis diabetes insipidus (JDI_n), $n = 3$; $JDI = \{JDI_1, JDI_2, JDI_3\}$, dimana JDI_1 merupakan diabetes dispogenik, JDI_2 merupakan diabetes nefrogenik, sedangkan JDI_3 merupakan diabetes kranial.

2.2 Metode Yang Digunakan

Penelitian ini menggunakan dua metode *data mining*, yaitu algoritma *k-means* dan algoritma C4.5. Kedua algoritma ini digunakan untuk mengelompokkan dan memprediksi, berdasarkan *data training* dan *data testing* yang telah diperoleh. Kedua algoritma ini diintegrasikan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Karena kedua algoritma ini dapat saling membantu menutupi kekurangan dari masing-masing algoritma tersebut.

2.2.1 K-means

Pada penelitian ini, tahap pertama yang dilakukan adalah klusterisasi terhadap *data training* dan *data testing*, ini dilakukan untuk mengelompokkan data menjadi beberapa kluster atau kelompok. Salah satu metode klusterisasi adalah metode berbasis partisi, yaitu algoritma *k-means*. Metode ini merupakan algoritma klusterisasi yang paling tua dan banyak digunakan. Pada tahap ini algoritma *k-means* digunakan untuk membagi data menjadi beberapa kluster. Pembagian dilakukan berdasarkan ukuran kemiripannya, yaitu nilai (*value*) dari antara atribut yang ada.

$$C_n(X + Y) = \sum_{n=1}^m \sqrt{|X_n - Y_n|^2} \quad (1)$$

C_n adalah jarak antara objek atau atribut, sedangkan X dan Y merupakan atributnya, untuk menghitung C_n dapat menggunakan rumus (1). Kemudian M merupakan dimensi data, sedangkan X_n dan Y_n adalah koordinat dari atribut yang ada. *Data training* yang digunakan sebanyak 250 *record*. Pengelompokkan yang dilakukan berdasarkan tanda dan gejala dari masing-masing DI, yaitu DI kranial, DI nefrogenik, dan DI despogenik. *K-means* digunakan karena mudah untuk diimplementasikan, dan waktu yang dibutuhkan untuk menerapkannya relatif cepat. Nilai *k-means* didapatkan dengan cara, pertama menentukan jumlah k (kluster), kemudian pilih titik *centroid* secara acak berdasarkan k tadi. Kedua, kelompokkan data berdasarkan k dan *centroid*, yang telah ditentukan sebelumnya. Ketiga, perbarui nilai titik *centroid* yang diperoleh sampai nilainya tidak terjadi perubahan lagi.

2.2.2 Algoritma C4.5

Selanjutnya dilakukan tahap klasifikasi untuk mendapatkan nilai akhir, klasifikasi yang dilakukan untuk memprediksi hasil dari perhitungan algoritma *k-means*. Klasifikasi (*classifier*) yang digunakan pada penelitian ini adalah algoritma J48, yang merupakan salah satu *classifier* pada *data mining*. Untuk mengelola data yang ada, digunakan aplikasi khusus untuk *data mining* yaitu weka. Algoritma C4.5 pada weka, memiliki sebuah *classifier* yaitu algoritma J48. Maka untuk mendapatkan hasil dari algoritma C4.5, penulis menggunakan *classifier* J48 pada weka tersebut. Setelah didapatkan hasil perhitungan dari *k-means*, selanjutnya dilakukan prediksi menggunakan algoritma C4.5, untuk mendapatkan hasil akhir dari klusterisasi dan klasifikasi yang dilakukan kedua algoritma ini. Algoritma C4.5 memilih atribut yang akan diproses menggunakan *information gain*, atribut yang memiliki nilai *information gain* yang paling besar, akan dipilih sebagai kelas.

Perhitungan terlebih dahulu dimulai dengan mencari nilai dari setiap *Entropy* berdasarkan atribut yang ada. Setelah menghitung nilai *Entropy*, kita menghitung nilai *gain* dari setiap atribut. Selanjutnya kita mencari nilai *gain ratio* dengan menggunakan rumus *split information* dan *gain ratio*. Setelah kita mendapatkan nilai akurasi dari perhitungan C4.5, kita lanjut dengan mengelompokkan jenis penyakit berdasarkan kelas yang telah ditentukan, yaitu DI kranial, DI nefrogenik, dan DI dispogenik. *Entropy* adalah parameter dalam mengukur *heterogenitas* dari data yang ada, S merupakan himpunan dari kelas yang akan diklasifikasikan. Sedangkan, C adalah banyaknya kelas klasifikasi JDI, terdapat 3 kelas yaitu D_{i_d} , D_{i_k} , dan D_{i_n} . Selain itu, P_i ialah Proporsi untuk kelas JDI. Berikut ini merupakan rumus untuk menghitung *entropy*:

$$Entropy(S) = \sum_{i=1}^c -P_i * \log_2 P_i \quad (2)$$

Gain untuk mengukur nilai untuk mengukur keefektifan atribut dalam mengklasifikasikan data. A adalah atribut, sedangkan v adalah nilai yang mungkin untuk atribut A , $Values(A)$ adalah himpunan nilai dari setiap attribute, sedangkan $|S_v|$ adalah jumlah sampel untuk nilai v , dan $|S|$ adalah jumlah seluruh sampel data, sedangkan $Entropy(S_v)$ adalah *Entropy* untuk sampel – sampel yang memiliki nilai v . Di bawah ini merupakan rumus yang dapat digunakan untuk menghitung nilai *gain*.

$$Gain(S, A) = Entropy(S) - \sum_{i=0}^n \frac{|S_i|}{|S|} * Entropy(S_i) \quad (3)$$

S menyatakan himpunan sampel data, S_1 sampai S_c menyatakan sub himpunan sampel data yang terbagi berdasarkan jumlah variasi nilai pada atribut A . Berikut adalah rumus dari *split information* dan *gain ratio* :

$$Split\ Information(S,A) = \sum_{i=1}^c - \frac{|S_i|}{|S|} \log_2 \frac{|S_i|}{|S|} \quad (4)$$

$$Gain\ Ratio(S,A) = \frac{Gain(S,A)}{SplitInformation(S,A)} \quad (5)$$

2.2.3 Simulasi

Pada tahap ini akan dilakukan implementasi dari kedua algoritma yang telah dijelaskan ditahap sebelumnya. Hasil dari simulasi ini akan diperlihatkan dalam bentuk grafik. Untuk mengetahui pola dari DI, maka penulis melakukan penelitian terhadap anak muda usia produktif, yang dilakukan di Universitas Katolik De La Salle Manado (UDLSM). Hal ini ditujukan untuk mengetahui mahasiswa yang terindikasi penyakit DI, dan membantu untuk melakukan prediksi terhadap mahasiswa yang belum mengetahui jika terindikasi DI atau tidak. Pada penelitian ini, penulis menggunakan *Google form* sebagai media dalam melakukan survei kepada responden, dalam hal ini yang menjadi responden adalah mahasiswa UDLSM, survei dilakukan secara acak pada angkatan 2013 sampai 2017.

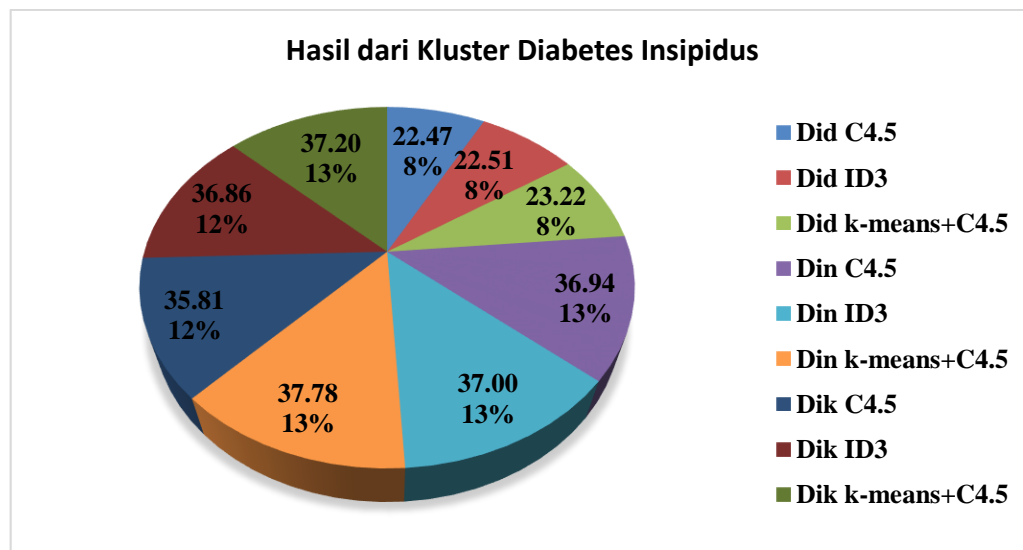
File yang diperoleh disimpan dalam format *extensible stylesheet language xml (.xlsx)*. Selanjutnya, dalam tahap *cleaning data* tidak diadakan karena seluruh *record* terisi penuh (tidak terdapat Null). Data yang telah tersimpan dalam format *xlsx*, dilakukan *transforming* data kedalam format *comma separated values (.csv)*, karena *tools* yang akan digunakan tidak dapat mengeksekusi *file* berformat *xlsx*. Setelah melakukan *transforming* kemudian dilakukannyasimulasi dari algoritma yang diusulkan oleh penulis dengan menggunakan *weka*. Data *training* yang diperoleh dari mahasiswa Universitas Katolik De La Salle Manado, dengan jumlah data yang digunakan ialah sebanyak 250 *record*, Sedangkan 25 *record* digunakan sebagai data *testing*, yang dapat dilihat pada Gambar 1.

NO.	1. JK	2. U	3. BB	...	16. JDI
252	Laki - laki	22 - 24 tahun	41 - 70kg	...	?
253	Laki - laki	22 - 24 tahun	41 - 70kg	...	?
254	Perempuan	22 - 24 tahun	41 - 70kg	...	?
255	Laki - laki	22 - 24 tahun	41 - 70kg	...	?
256	Perempuan	19 - 21 tahun	41 - 70kg	...	?
257	Perempuan	19 - 21 tahun	41 - 70kg	...	?
258	Perempuan	19 - 21 tahun	<= 40kg	...	?
259	Laki - laki	16 - 18 tahun	41 - 70kg	...	?
260	Laki - laki	19 - 21 tahun	41 - 70kg	...	?
261	Laki - laki	19 - 21 tahun	41 - 70kg	...	?
...
276	Laki - laki	16 - 18 tahun	41 - 70kg	...	?

Gambar 1. Data testing

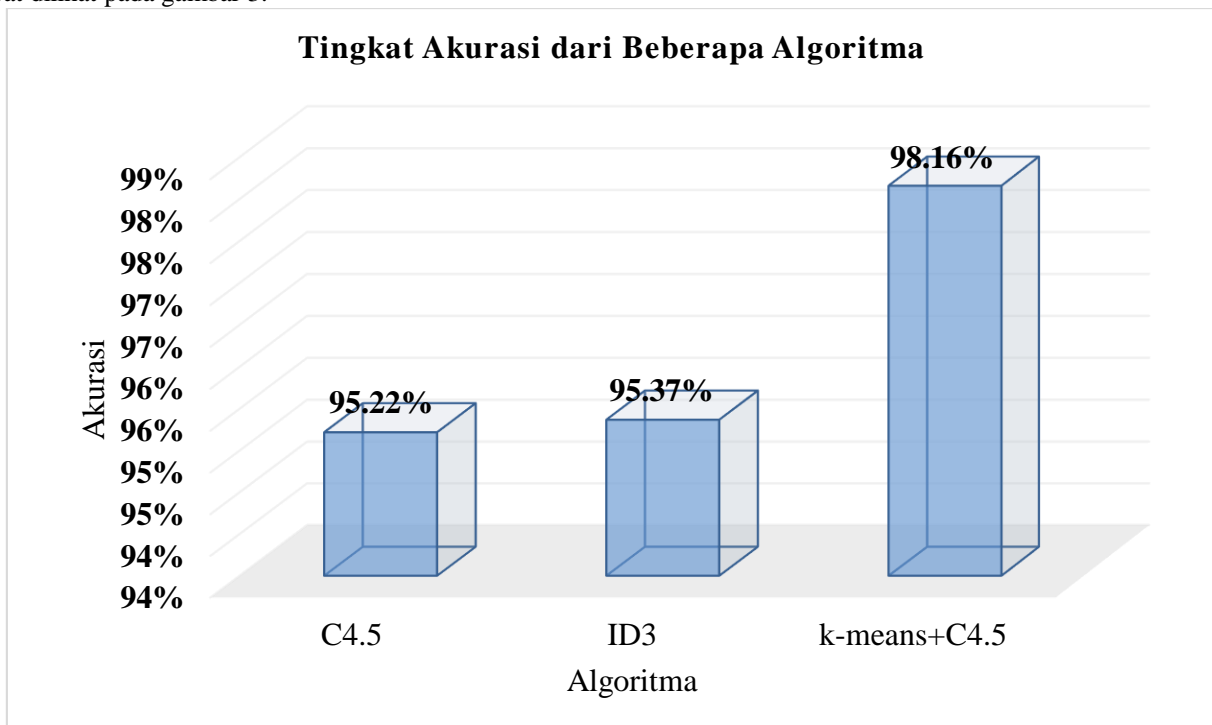
Pengelompokan dilakukan dengan menggunakan algoritma *k-means*, dari hasil pengelompokan yang diperoleh selanjutnya dilakukan identifikasi dengan menggunakan algoritma C4.5. Kedua algoritma ini diintegrasikan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Algoritma ini dibandingkan dengan beberapa algoritma lainnya. Hasil yang diperoleh juga dilakukan perhitungan nilai akurasi dengan menggunakan *confusion matrix*.

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan algoritma C4.5, diperoleh hasil DI_d 22.47%, DI_n 36.94%, dan DI_k 35.81%, dengan nilai akurasi 95.22%, dalam waktu eksekusi algoritma sekitar 0.05 detik. Sedangkan, saat menggunakan algoritma *ID3* diperoleh hasil akurasi 95.37%, dengan 22.51% untuk DI_d , 37% untuk DI_n , dan 35.86% untuk DI_k , dengan waktu 0.09 detik. Selanjutnya dengan menggunakan algoritma gabungan (*k-means* dan C4.5) hasil yang didapatkan yaitu 23.22% untuk DI_d , 37.78% untuk DI_n , dan 37.2% untuk DI_k , dengan nilai akurasi mencapai 98.16%, dalam waktu 0.02 detik.

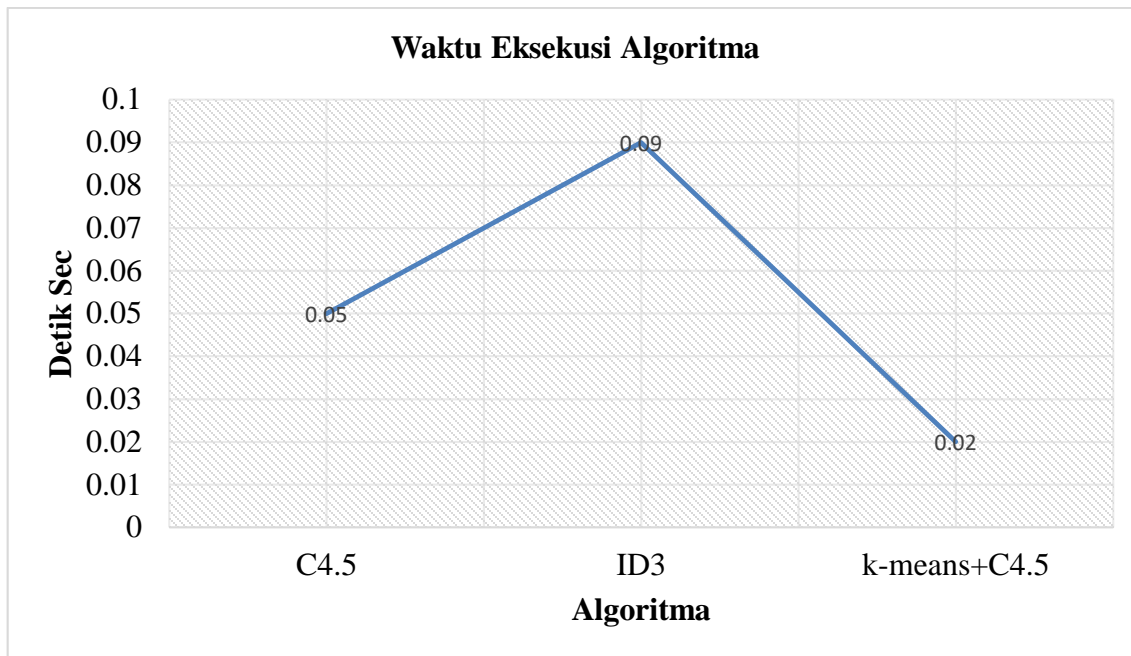


Gambar 2. Hasil Identifikasi Jenis-jenis DI dari Beberapa Algoritma

Gambar 2 Menampilkan hasil dari prediksi penyakit dengan menggunakan beberapa algoritma, dimana dapat dilihat bahwa dengan menggunakan algoritma gabungan DI nefrogenik lebih tinggi dibandingkan dengan DI kranial. Sedangkan dengan menggunakan algoritma ID3 hasil yang diperoleh sama dengan menggunakan algoritma gabungan (*k-means* dan C4.5), namun hasil yang diperoleh lebih tinggi menggunakan algoritma gabungan (yaitu 37,78%) dibandingkan dengan ID3 yang hanya mencapai 37%. Dengan mengintegrasikan antara algoritma *k-means* dan C4.5, hasil yang diperoleh lebih baik yaitu tingkat akurasi yang mencapai 98,16%, dibandingkan dengan algoritma ID3 yang hanya mencapai 95,37% dan algoritma C4.5 yang hanya 95,22%, hasil dari perbandingan ini dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil Perbandingan Tingkat Akurasi



Gambar 4. Waktu Eksekusi dari Beberapa Algoritma

Pada Gambar 4 dapat dilihat waktu yang diperoleh dari eksekusi setiap algoritma yang digunakan, dimana dengan menggunakan algoritma ID3 membutuhkan waktu eksekusi yang paling lama dibandingkan dengan algoritma lain (yaitu 0.09 Sec), sedangkan algoritma gabungan hanya membutuhkan waktu eksekusi yang paling rendah 0.02 Sec, disusul oleh C4.5 yang hanya membutuhkan waktu sekitar 0,05 Sec.

3. KESIMPULAN

Dalam Penelitian ini, penulis membahas mengenai identifikasi penyakit DI pada usia produktif yaitu di kalangan mahasiswa, yang terbagi dalam tiga jenis DI yaitu diabetes dispogenik, diabetes kranial, dan diabetes nefrogenik. Penulis mengusulkan menggunakan metode gabungan yaitu k-means dan algoritma C4.5 yang merupakan *classifier* dari algoritma C4.5. Dari hasil yang diperoleh bahwa terdapat beberapa mahasiswa yang berpeluang lebih besar terindikasi DI nefrogenik, dibandingkan dengan DI kranial dan DI dispogenik. Sehingga hal tersebut mengharuskan mahasiswa untuk dapat mengatur pola hidup sedini mungkin, agar kegiatan yang dilakukan di kampus tidak terhambat karena gejala yang ditimbulkan dari penyakit tersebut. Berdasarkan simulasi yang dilakukan, penggabungan algoritma *k-means* dan C4.5 menghasilkan tingkat akurasi yang lebih tinggi, serta waktu eksekusi algoritma yang lebih cepat dibandingkan dengan beberapa algoritma lainnya.

PUSTAKA

- [1]. Utami, W. 2015. *10 penyakit paling mematikan di Indonesia*, (Online), (<http://cnnindonesia.com>, diakses 17 November 2017).
- [2]. Admin. 2017. *Tanda dan gejala diabetes*, (online), (<http://www.alodokter.com>, diakses 14 November 2017).
- [3]. M. DiGiulio, D. Jackson dan J. Keogh, Keperawatan Medikal Bedah, Rapha, 2014.
- [4]. Tyasti, A. E., Ispriyanti, D., Hoyyi, A. 2015. *Algoritma Iterative Dichotomiser 3 (ID3) Untuk Mengidentifikasi Data Rekam Medis (Studi Kasus Penyakit Diabetes Melitus Di Balai Kesehatan Kementerian Perindustrian, Jakarta)*. Jurnal Gaussian. Vol. 4. No. 2. Hal. 237-246.
- [5]. Efendi, M. S., Wibawa, H. A. 2018. *Prediksi Penyakit Diabetes Menggunakan Algoritma ID3 Dengan Pemilihan Atribut Terbaik*. JUITA p-ISSN:2089-9398. Vol 6. No. 1. Hal. 29-35.
- [6]. Vasudevan, P. 2014. *Iterative Dichotomiser 3 Algorithm In Data Mining Applied To Diabetes Database*. Journal Of Computer Science 10. Hal. 1151-1155.

PENGELOMPOKAN TINGKAT KRIMINALITAS DI KOTA YOGYAKARTA DENGAN MENGGUNAKAN METODE K-MEANS CLUSTERING

Eduardus Hardika Sandy Atmaja¹

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma
Kampus III Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman Yogyakarta
Telp. (0274) 883037, 883968
E-mail: edo@usd.ac.id

ABSTRAK

Kriminalitas merupakan permasalahan sosial yang sulit untuk dihindari. Dampak negatif yang dihasilkan oleh kriminalitas dapat mengganggu ketertiban dan ketentraman dalam masyarakat. Untuk itu perlu adanya suatu mekanisme pencegahan yang efektif dari kepolisian selaku pihak yang bertanggungjawab dalam menjaga ketertiban dan ketentraman. Kurangnya pengetahuan polisi terhadap tingkat kriminalitas menyebabkan usaha pencegahan kriminalitas terhambat. Penelitian ini mencoba untuk memanfaatkan pola kejahatan yang ada di Yogyakarta untuk selanjutnya dicari pengelompokan tingkat kriminalitas dengan menggunakan metode clustering. Pola kejahatan yang dimaksud adalah data tindak kejahatan yang telah diproses melalui teknik asosiasi. Pola kejahatan tersebut selanjutnya digunakan sebagai input metode clustering dengan menggunakan variabel support dan confidence. Hasil dari pengujian pada penelitian ini didapat 2 pola kejahatan dengan tingkat kerawanan tinggi, 9 pola kejahatan dengan tingkat kerawanan sedang dan 9 pola kejahatan dengan tingkat kerawanan rendah. Dengan informasi tersebut diharapkan kepolisian dapat mengoptimalkan usaha pencegahan kriminalitas di dalam masyarakat.

Kata Kunci: data mining, clustering, k-means, kriminalitas

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

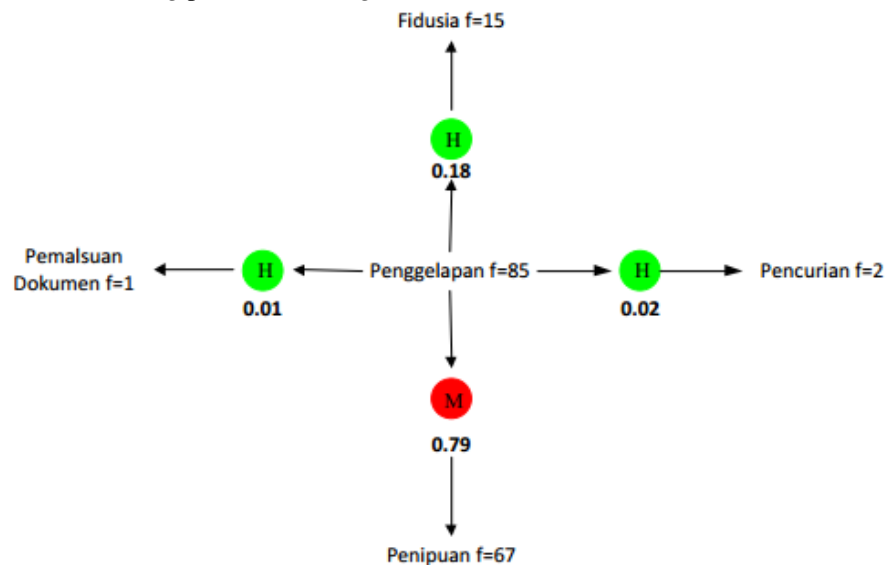
Kriminalitas merupakan perbuatan melanggar undang-undang yang dapat merugikan korban dan masyarakat karena dapat menghilangkan ketertiban dan ketentraman (Kartono, 1999) dan (Soesilo, 1985). Kriminalitas yang semakin marak dan merugikan masyarakat menjadi perhatian khusus bagi pihak kepolisian dalam mengupayakan pencegahan guna mengurangi kriminalitas yang terjadi.

Menurut keterangan dari Ibu Khatarina Ekorini, S.S selaku Kepala Sub Bagian Administrasi Pembinaan Operasi Bagian Pembinaan Operasi Direktorat Reserse Kriminal Umum Polisi Daerah Istimewa Yogyakarta, terdapat dua fungsi polisi dalam mengupayakan pencegahan kriminalitas yaitu BINMAS dan SABHARA. Fungsi yang pertama yaitu BINMAS (Bimbingan Masyarakat) bertugas untuk melakukan sosialisasi guna memberikan informasi dan penyadaran hukum kepada masyarakat terkait dengan isu-isu kejahatan yang marak terjadi. Sedangkan SABHARA (Samapta Bhayangkara) bertugas untuk melakukan patroli secara langsung guna pencegahan tindak kejahatan di masyarakat. Kepolisian juga bekerja sama dengan media untuk mempublikasikan berita-berita yang relevan yang memuat kasus kejahatan beserta ancaman hukumannya, harapannya adalah masyarakat menjadi sadar akan hukum yang berlaku.

Dalam menjalankan usaha pencegahan kriminalitas, kepolisian dituntut untuk bijak dalam memilih isu-isu kejahatan yang relevan dalam masyarakat, sehingga usaha pencegahan yang dilakukan menjadi tepat sasaran. Namun pada praktiknya, polisi hanya berbekal data jumlah kasus kejahatan tertinggi yang dihitung secara manual dan belum ada pemetaan tingkat kejahatan yang jelas. Hal tersebut tentu dapat menjadi masalah tersendiri karena dapat dimungkinkan kejahatan yang saling berasosiasi tidak dapat diketahui. Sehingga diperlukan suatu cara analisis data kejahatan untuk mendapatkan informasi yang relevan guna mendukung pihak kepolisian dalam usaha pencegahan.

Penelitian untuk menganalisis tindak kejahatan yang saling berasosiasi telah berhasil dilakukan oleh Atmaja (2017). Atmaja (2017) juga telah menyajikan pola kejahatan dengan menggunakan visualisasi *graph* untuk mempermudah pemahaman informasi. Hasil dari visualisasi *graph* ditunjukkan pada Gambar 1. Pada Gambar 1 terlihat pola kejahatan dengan *antecedent* penggelapan. Terlihat bahwa jika seseorang melakukan penggelapan maka seseorang kemungkinan juga melakukan penipuan dengan nilai pendukung 0,79, pemalsuan dokumen dengan nilai pendukung 0,01, fidusia dengan nilai pendukung 0,18 atau pencurian dengan nilai pendukung 0,02. Bulatan M (Merah) dan H (Hijau) menunjukkan tingkat kerawanan kejahatan. Pada penelitian tersebut penentuan kerawanan kejahatan masih ditentukan secara manual berdasarkan nilai *support* dengan membagi rata jarak nilai *support* menjadi empat yaitu 0,01 – 0,25 rendah, 0,26-0,50 sedang, 0,51-0,75 tinggi, 0,76-1 sangat tinggi. Penentuan kerawanan dengan cara manual tersebut dirasa kurang relevan dan tidak berdasar untuk itu pada penelitian ini,

penulis mencoba memperbaiki penelitian sebelumnya dengan berfokus pada pengelompokan tingkat kejahatan dengan memanfaatkan *clustering* pada *data mining*.



Gambar 1. Hasil visualisasi *graph* (Atmaja, 2017 : 55)

Data mining merupakan suatu proses untuk menemukan informasi berharga dari sekumpulan data. Beberapa metode *data mining* dapat digunakan untuk mencari pola penting yang mungkin belum diketahui sebelumnya. *Data mining* juga dapat menghasilkan prediksi ke depan dengan mempelajari kumpulan data yang sudah ada. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis data adalah metode *clustering*.

Clustering merupakan salah satu metode dalam *data mining* yang dapat digunakan untuk mengelompokkan data ke dalam kelompok-kelompok yang memiliki kedekatan atau kemiripan. Kelompok-kelompok tersebut dapat terbentuk dengan sendirinya dengan menghitung jarak *euclidean* diantara data. Sehingga dapat dipastikan bahwa anggota dalam setiap kelompok relatif homogen. Metode tersebut dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan pengelompokan tingkat kerawanan kejahatan berdasarkan pola-pola kejahatan yang telah ditemukan sebelumnya.

Hasil dari pengolahan data dengan metode *clustering* dan algoritma *K-means* berupa *cluster*/kelompok tingkat kerawanan kejahatan yang selanjutnya dapat diberi label sesuai dengan tingkat kerawanan (tinggi, sedang, rendah). Hasil dari pengelompokan tersebut selanjutnya dapat dimanfaatkan oleh pihak kepolisian sebagai informasi baru. Dengan demikian, pihak kepolisian dapat lebih mudah dalam memilih kejahatan yang menjadi prioritas untuk selanjutnya dilakukan upaya-upaya pencegahannya.

1.2 Tinjauan Pustaka

Data mining merupakan suatu proses untuk menggali pengetahuan dari sejumlah besar data (Han, 2006). Terdapat berbagai teknik *data mining* yang dapat digunakan untuk memproses data menjadi informasi yang dapat menyelesaikan berbagai persoalan. Pemanfaatan data mining sangat luas dan dapat mencakup berbagai bidang kehidupan. Berbagai macam data dapat digunakan dan tentu saja harus disesuaikan dengan tujuan dan teknik yang sesuai.

Clustering merupakan salah satu teknik dalam *data mining* yang bertujuan untuk mengelompokkan data berdasarkan informasi yang ditemukan dalam data tersebut (Tan, 2006 : 490). Tujuannya adalah memastikan bahwa obyek dalam satu kelompok memiliki kemiripan satu dengan yang lainnya dan memiliki perbedaan dengan obyek di luar kelompoknya. Semakin besar tingkat kemiripan dalam satu kelompok dan semakin besar perbedaan antar kelompok menunjukkan *clustering* yang baik.

Terdapat beberapa metode *clustering*, salah satunya adalah *K-means clustering* yang digunakan dalam penelitian ini. *K-means clustering* bekerja dengan mempartisi data dan mencoba untuk menemukan sejumlah *cluster* yang ditentukan oleh pengguna yang diwakili oleh *centroid* (Tan, 2006 : 495). Gambar 2 merupakan algoritma dasar *K-Means clustering*.

1. Select K points as initial centroids
2. Repeat
3. Form K clusters by assigning each point to its closest centroid
4. Recompute the centroid of each cluster
5. Until Centroids do not change

Gambar 2. Algoritma dasar K-means clustering (Tan, 2006 : 497)

Terdapat banyak penelitian yang membahas mengenai pengelompokan data menggunakan teknik *clustering* pada *data mining* khususnya dengan menggunakan algoritma *k-means*, seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Wardhani (2016). Penelitian tersebut membahas mengenai pengelompokan penyakit pasien berdasarkan beberapa variabel yang telah ditentukan. Hasil dari penelitian tersebut berupa pengelompokan pasien yang berpenyakit akut atau tidak akut. Hasil tersebut selanjutnya akan digunakan sebagai dasar dalam melakukan penyuluhan kesehatan terhadap penyakit yang tergolong akut.

Penelitian lain juga telah dilakukan oleh Nasari dan Sianturi (2016), mereka melakukan pengelompokan penyebaran penyakit diare di Kabupaten Langkat. Tingginya serangan diare pada balita di kawasan tersebut khususnya pada musim pancaroba, menjadi dasar mereka dalam melakukan pemetaan lokasi penyebaran penyakit diare. Hasilnya berupa kawasan pusat penyebaran diare yang selanjutnya dapat dimanfaatkan oleh dinas kesehatan setempat untuk dilakukan upaya pencegahan maupun pengobatan.

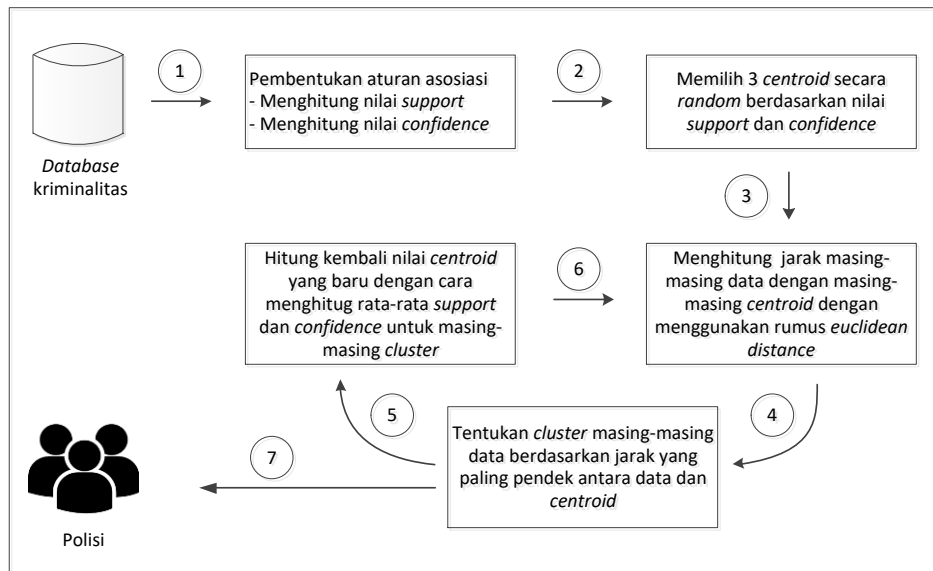
Penggabungan beberapa algoritma *clustering* juga dapat dilakukan untuk lebih mengoptimalkan hasil pengelompokan, seperti yang telah dilakukan oleh Fikri dkk. (2017). Mereka mencoba menggabungkan algoritma *k-means* dan *cop-kmeans* untuk mengelompokkan kualitas kerja pegawai. Tujuannya adalah untuk merencanakan program pemeliharaan kesehatan pegawai. Hasil dari penelitian tersebut adalah 5 kelompok kualitas kerja dengan pegawai sebagai anggota kelompok dan penyakit yang diderita. Informasi tersebut dapat digunakan untuk mempertimbangkan program kesehatan pegawai yang tepat.

Pemilihan *distance measure* juga dapat menentukan hasil dari proses *clustering* pada metode *k-means*. Penelitian tersebut telah dilakukan oleh Anggara dkk. (2016), mereka mencoba mengelompokkan *member fitness* berdasarkan variabel kondisi fisik *member* sembari menganalisis beberapa *distance measure* untuk dicari hasil yang paling optimal. Hasilnya adalah *chebyshev distance* terpilih menjadi *distance measure* yang terbaik untuk kasus pengelompokan *member fitness*. Penelitian tersebut juga berhasil mengelompokkan *member fitness* berdasarkan kondisi fisik masing-masing *member*. Hal tersebut berguna untuk menentukan pola latihan yang sesuai dengan masing-masing *member*.

1.3 Metodologi Penelitian

Data-data laporan polisi yang diperoleh dari Kepolisian Daerah Istimewa Yogyakarta masih disajikan dalam bentuk konvensional yaitu baik dalam bentuk buku maupun data-data *excel* yang belum memiliki format yang konsisten. Data-data tersebut tentu saja belum dapat dimanfaatkan secara maksimal. Selama ini, data tersebut hanya dihitung secara manual untuk mendapatkan laporan data statistik kasus kejahatan yang banyak terjadi. Namun tidak ada batasan yang jelas bagaimana suatu kumpulan data kejahatan dikategorikan memiliki tingkat kerawanan yang tinggi, sedang maupun rendah.

Penelitian ini dapat menjawab permasalahan di atas dengan merancang sistem yang dapat melakukan pengelompokan tingkat kerawanan kejahatan melalui mekanisme *Knowledge Discovery and Data Mining* (KDD). Proses berawal dengan melakukan *preprocessing* data (pembersihan, integrasi, seleksi dan transformasi) untuk menghasilkan data yang konsisten dari kumpulan data yang diperoleh sebelumnya. Data tersebut disimpan dalam basis data kriminalitas yang selanjutnya diolah dengan menggunakan metode asosiasi untuk mendapatkan pola tindak kejahatan sekaligus untuk mendapatkan nilai *support* dan *confidence*. Nilai *support* dan *confidence* yang dihasilkan selanjutnya dapat diolah kembali dengan metode *clustering* dan algoritma *K-means* untuk mendapatkan pengelompokan tingkat kerawanan kejahatan. Gambar 3 menjelaskan rangkaian algoritma yang diterapkan dalam penelitian ini.



Gambar 3. Langkah kerja algoritma

Gambar 3 memperlihatkan beberapa rangkaian proses dari sistem yang dirancang. Hasil *preprocessing* data laporan polisi disimpan ke dalam *database MySql* sebagai *database kriminalitas*. Data tersebut selanjutnya digunakan sebagai masukan pada proses pembentukan aturan asosiasi (langkah 1) menggunakan metode *association rule mining*. Hasil dari pembentukan aturan asosiasi adalah pola-pola kejahatan beserta nilai *support* dan *confidence* yang selanjutnya digunakan sebagai masukan pada proses *clustering*.

Proses *clustering* diawali dengan memilih tiga *centroid* secara acak berdasarkan *support* dan *confidence* yang dimiliki oleh pola kejahatan (langkah 2). Selanjutnya, *support* dan *confidence* pada masing-masing data dihitung jarak kedekatannya dengan tiga *centroid* yang telah terpilih dengan menggunakan rumus *euclidean distance* (langkah 3). Jarak terdekat antara masing-masing data dengan *centroid* menunjukkan tingkat kemiripan antar data, oleh karena itu *centroid* dengan jarak terdekatlah yang dipilih sebagai kelompok dari data (langkah 4). Setelah seluruh data ditentukan *cluster*-nya, langkah selanjutnya adalah menghitung kembali tiga *centroid* yang baru dengan cara menghitung rata-rata *support* dan *confidence* pada masing-masing *cluster* (langkah 5). Langkah selanjutnya adalah mengulang kembali proses penghitungan jarak masing-masing data dengan tiga *centroid* yang baru (langkah 6). Setelah dilakukan penghitungan kembali jarak antara data dan *centroid*, maka proses penentuan *cluster* juga diulang kembali. Apabila masih ada perpindahan *cluster* pada data maka langkah 4 sampai langkah 6 diulang kembali. Apabila sudah tidak ada data yang berpindah *cluster*, maka proses *clustering* berhenti. Langkah selanjutnya adalah memberi label pada *cluster* untuk menunjukkan tingkat kerawanan kejahatan supaya mudah dipahami oleh pengguna yang dalam kasus ini adalah polisi.

2. PEMBAHASAN

2.1 Aturan Asosiasi

Pada Tabel 1, disajikan 20 contoh *rules* yang menggambarkan pola-pola kejahatan yang dihasilkan oleh proses pembentukan aturan asosiasi. Pola-pola tersebut selanjutnya akan dikelompokkan menggunakan metode *clustering* dan algoritma *k-means* untuk mengetahui tingkat kerawanan tindak kejahatan.

Tabel 1. Contoh aturan asosiasi

No.	Rules	Support (%)	Confidence (%)
1	Jika dilakukan Penggelapan maka dilakukan Pencurian	0.02	0.03
2	Jika dilakukan Pencurian maka dilakukan Penggelapan	0.02	0.24
3	Jika dilakukan Penggelapan maka dilakukan Penipuan	0.6	0.89
4	Jika dilakukan Penipuan maka dilakukan Penggelapan	0.6	0.86

5	Jika dilakukan Penggelapan maka dilakukan Fidusia	0.05	0.07
...
20	Jika dilakukan Perbuatan Tidak Menyenangkan maka dilakukan Pencemaran Nama Baik	0.02	0.33

2.2 Penentuan *centroid* awal

Proses *clustering* diawali dengan memilih 3 *centroid* secara acak berdasarkan *support* dan *confidence* pada aturan asosiasi seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tiga *centroid* awal

	<i>c1</i>	<i>c2</i>	<i>c3</i>
<i>Support</i>	60	2	7
<i>Confidence</i>	89	57	9

2.3 Penghitungan *euclidean distance* iterasi 1

Proses dilanjutkan dengan menghitung jarak antara data dengan masing-masing *centroid* yang telah dipilih dengan menggunakan rumus *euclidean distance* (Han, 2006):

$$d(i, j) = \sqrt{(x_{i1} - x_{j1})^2 + (x_{i2} - x_{j2})^2} \quad (1)$$

Keterangan:

$d(i, j)$ = jarak antara data dengan *centroid*

x_{i1} = nilai *support* pada masing-masing data

x_{j1} = *centroid* (c) untuk *support*

x_{i2} = nilai *confidence* pada masing-masing data

x_{j2} = *centroid* (c) untuk *confidence*

Hasil perhitungan jarak diperlihatkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Rules dan nilai jarak

Rules	<i>Support</i>	<i>Confidence</i>	<i>c1</i>	<i>c2</i>	<i>c3</i>	Jarak Terpendek	Cluster
1	2	3	103,730	54,000	7,810	7,810	c3
2	2	24	87,115	33,000	15,811	15,811	c3
3	60	89	0,000	66,242	95,964	0,000	c1
4	60	86	3,000	64,846	93,477	3,000	c1
5	5	7	98,737	50,090	2,828	2,828	c3
6	5	100	56,089	43,105	91,022	43,105	c2
7	2	3	103,730	54,000	7,810	7,810	c3
8	2	67	62,032	10,000	58,215	10,000	c2
9	7	9	95,964	48,260	0,000	0,000	c3
10	7	100	54,129	43,290	91,000	43,290	c2
11	2	15	94,021	42,000	7,810	7,810	c3
12	2	44	73,410	13,000	35,355	13,000	c2
13	4	3	102,626	54,037	6,708	6,708	c3
14	4	89	56,000	32,062	80,056	32,062	c2
15	2	19	90,907	38,000	11,180	11,180	c3

16	2	56	66,731	1,000	47,265	1,000	c2
17	2	44	73,410	13,000	35,355	13,000	c2
18	2	57	66,242	0,000	48,260	0,000	c2
19	2	44	73,410	13,000	35,355	13,000	c2
20	2	33	80,623	24,000	24,515	24,000	c2

Cluster pada Tabel 3 ditentukan berdasarkan jarak yang paling pendek antara data dengan *centroid*. Terlihat bahwa, terdapat 2 aturan asosiasi yang masuk ke dalam *cluster* c1, 10 aturan asosiasi yang masuk ke dalam *cluster* c2 dan 8 lainnya masuk ke dalam *cluster* c3.

2.4 Penghitungan *centroid* baru iterasi 2

Setelah iterasi pertama selesai dilakukan maka proses berlanjut ke iterasi kedua untuk melihat kemungkinan perubahan *cluster* pada masing-masing data. Iterasi kedua diawali dengan menghitung kembali 3 nilai *centroid* dengan cara menghitung rata-rata *support* dan *confidence* pada masing-masing *cluster* sehingga menghasilkan *centroid* baru seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. *Centroid* baru iterasi 2

	<i>c1</i>	<i>c2</i>	<i>c3</i>
<i>Support</i>	60	3	3,25
<i>Confidence</i>	87,5	63,4	10,375

2.5 Penghitungan *euclidean distance* iterasi 2

Setelah *centroid* baru telah diperoleh, langkah selanjutnya adalah menghitung kembali jarak antara data dengan masing-masing *centroid* yang baru dengan menggunakan rumus *euclidean distance*. Hasil perhitungan jarak diperlihatkan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. *Rules* dan nilai jarak iterasi 2

<i>Rules</i>	<i>Support</i>	<i>Confidence</i>	<i>c1</i>	<i>c2</i>	<i>c3</i>	<i>Jarak Terpendek</i>	<i>Cluster</i>
1	2	3	102,490	60,408	7,480	7,480	c3
2	2	24	86,001	39,413	13,682	13,682	c3
3	60	89	1,500	62,485	96,966	1,500	c1
4	60	86	1,500	61,317	94,550	1,500	c1
5	5	7	97,495	56,435	3,802	3,802	c3
6	5	100	56,403	36,655	89,642	36,655	c2
7	2	3	102,490	60,408	7,480	7,480	c3
8	2	67	61,516	3,736	56,639	3,736	c2
9	7	9	94,717	54,547	3,994	3,994	c3
10	7	100	54,454	36,818	89,703	36,818	c2
11	2	15	92,845	48,410	4,791	4,791	c3
12	2	44	72,500	19,426	33,648	19,426	c2
13	4	3	101,372	60,408	7,413	7,413	c3
14	4	89	56,020	25,620	78,629	25,620	c2
15	2	19	89,757	44,411	8,715	8,715	c3
16	2	56	66,002	7,467	45,642	7,467	c2
17	2	44	72,500	19,426	33,648	19,426	c2

18	2	57	65,531	6,478	46,642	6,478	c2
19	2	44	72,500	19,426	33,648	19,426	c2
20	2	33	79,588	30,416	22,660	22,660	c3

Pada Tabel 5, terlihat bahwa terjadi perubahan *cluster* pada aturan asosiasi nomor 20, yang semula adalah *cluster* c2 menjadi *cluster* c3. Oleh karena itu iterasi berlanjut ke iterasi ketiga. Iterasi akan berhenti ketika tidak ada perubahan *cluster* pada data.

2.6 Penghitungan *centroid* baru iterasi 3

Iterasi ketiga dilanjutkan dengan menghitung kembali 3 nilai *centroid* dengan cara menghitung rata-rata *support* dan *confidence* pada masing-masing *cluster* sehingga menghasilkan *centroid* baru seperti yang diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6. *Centroid* baru iterasi 3

	<i>c1</i>	<i>c2</i>	<i>c3</i>
<i>Support</i>	60	3,111	3,111
<i>Confidence</i>	87,5	66,778	12,889

2.7 Penghitungan *euclidean distance* iterasi 3

Setelah *centroid* baru telah diperoleh, langkah selanjutnya adalah menghitung kembali jarak antara data dengan masing-masing *centroid* yang baru dengan menggunakan rumus *euclidean distance*. Hasil perhitungan jarak diperlihatkan pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. *Rules* dan nilai jarak iterasi 3

<i>Rules</i>	<i>Support</i>	<i>Confidence</i>	<i>c1</i>	<i>c2</i>	<i>c3</i>	Jarak Terpendek	<i>Cluster</i>
1	2	3	102,490	63,787	9,951	9,951	c3
2	2	24	86,001	42,792	11,167	11,167	c3
3	60	89	1,500	61,075	95,022	1,500	c1
4	60	86	1,500	60,049	92,637	1,500	c1
5	5	7	97,495	59,808	6,184	6,184	c3
6	5	100	56,403	33,276	87,132	33,276	c2
7	2	3	102,490	63,787	9,951	9,951	c3
8	2	67	61,516	1,133	54,123	1,133	c2
9	7	9	94,717	57,909	5,500	5,500	c3
10	7	100	54,454	33,449	87,198	33,449	c2
11	2	15	92,845	51,790	2,386	2,386	c3
12	2	44	72,500	22,805	31,131	22,805	c2
13	4	3	101,372	63,784	9,929	9,929	c3
14	4	89	56,020	22,240	76,116	22,240	c2
15	2	19	89,757	47,791	6,211	6,211	c3
16	2	56	66,002	10,835	43,125	10,835	c2
17	2	44	72,500	22,805	31,131	22,805	c2
18	2	57	65,531	9,841	44,125	9,841	c2
19	2	44	72,500	22,805	31,131	22,805	c2
20	2	33	79,588	33,796	20,142	20,142	c3

Pada Tabel 7, tidak terlihat adanya perubahan *cluster* pada semua aturan asosiasi. Oleh karena itu iterasi dihentikan. Terdapat 2 aturan asosiasi yang masuk ke dalam *cluster* c1, 9 aturan asosiasi yang masuk ke dalam *cluster* c2 dan 9 lainnya masuk ke dalam *cluster* c3.

Cluster c1 menunjukkan tingkat kerawanan yang tinggi karena memiliki nilai *support* dan *confidence* paling besar, lalu diikuti oleh *cluster* c2 dan c3. *Cluster* c1 selanjutnya diberi label “tinggi” untuk menunjukkan tingkat kerawanan yang tinggi. *Cluster* c2 diberi label “sedang” untuk menunjukkan kerawanan yang relatif sedang. *Cluster* c3 diberi label “rendah” untuk menunjukkan kerawanan yang rendah. Hasil pengelompokan dari proses clustering selanjutnya disajikan pada Tabel 8, Tabel 9 dan Tabel 10 berikut.

Tabel 8. Pola kejahatan dengan tingkat kerawanan tinggi

No.	Rules	Support	Confidence
1	Jika dilakukan Penggelapan maka dilakukan Penipuan	0.6	0.89
2	Jika dilakukan Penipuan maka dilakukan Penggelapan	0.6	0.86

Tabel 9. Pola kejahatan dengan tingkat kerawanan sedang

No.	Rules	Support	Confidence
1	Jika dilakukan Fidusia maka dilakukan Penggelapan	0.05	1.0
2	Jika dilakukan Pemalsuan Dokumen maka dilakukan Penipuan	0.02	0.67
3	Jika dilakukan Pelanggaran Informasi dan Transaksi Elektronik maka dilakukan Penipuan	0.07	1.0
4	Jika dilakukan Pengrusakan maka dilakukan Penganiayaan	0.02	0.44
5	Jika dilakukan Kekerasan Dalam Rumah Tangga maka dilakukan Penganiayaan	0.04	0.89
6	Jika dilakukan Pengeroyokan maka dilakukan Penganiayaan	0.02	0.56
7	Jika dilakukan Pencemaran Nama Baik maka dilakukan Fitnah	0.02	0.44
8	Jika dilakukan Fitnah maka dilakukan Pencemaran Nama Baik	0.02	0.57
9	Jika dilakukan Pencemaran Nama Baik maka dilakukan Perbuatan Tidak Menyenangkan	0.02	0.44

Tabel 10. Pola kejahatan dengan tingkat kerawanan rendah

No.	Rules	Support	Confidence
1	Jika dilakukan Penggelapan maka dilakukan Pencurian	0.02	0.03
2	Jika dilakukan Pencurian maka dilakukan Penggelapan	0.02	0.24
3	Jika dilakukan Penggelapan maka dilakukan Fidusia	0.05	0.07
4	Jika dilakukan Penipuan maka dilakukan Pemalsuan Dokumen	0.02	0.03
5	Jika dilakukan Penipuan maka dilakukan Pelanggaran Informasi dan Transaksi Elektronik	0.07	0.09
6	Jika dilakukan Penganiayaan maka dilakukan Pengrusakan	0.02	0.15
7	Jika dilakukan Penganiayaan maka dilakukan Kekerasan Dalam Rumah Tangga	0.04	0.3
8	Jika dilakukan Penganiayaan maka dilakukan Pengeroyokan	0.02	0.19
9	Jika dilakukan Perbuatan Tidak Menyenangkan maka dilakukan Pencemaran Nama Baik	0.02	0.33

3. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terlihat bahwa metode *k-means clustering* dapat digunakan untuk mengelompokkan tingkat kriminalitas di Yogyakarta berdasarkan aturan asosiasi yang menggambarkan pola-pola kejahatan. Terdapat 2 pola kejahatan dengan tingkat kerawanan tinggi, 9 pola kejahatan dengan tingkat kerawanan sedang dan 9 pola kejahatan dengan tingkat kerawanan rendah. Hasil penelitian tersebut tentu semakin menguatkan aturan asosiasi yang telah ditemukan sebelumnya.

Pada penelitian selanjutnya, perlu dilakukan penambahan pola kejahatan untuk dapat lebih menggambarkan kondisi nyata di lapangan sehingga hasil dari *clustering* menjadi lebih akurat. Selain itu, perlu juga dilakukan penambahan variabel untuk menghasilkan informasi yang lebih rinci.

PUSTAKA

- Atmaja, E.H.S. 2017. Visualisasi Aturan Asosiasi Berbasis Graph untuk Data Tindak Kejahatan. *Media Teknika*, XII (1): 46-57.
- Fikri, C.M., Agustin, F.E.M., dan Mintarsih, M. 2017. Pengelompokan kualitas kerja pegawai menggunakan algoritma k-means++ dan cop-kmeans untuk merencanakan program pemeliharaan kesehatan pegawai di PT PLN P2B JB depok. *Jurnal Pseudocode*, IV (1): 9-17.
- Han, J. 2006. *Data Mining: Concepts and Techniques Second Edition*. San Francisco: Morgan Kaufmann.
- Kartono. 1999. *Patologi Sosial*. Jakarta: Raja Grafindo Persada.
- Nasari, F. dan Sianturi, C.J.M. 2016. Penerapan Algoritma K-Means Clustering Untuk Pengelompokkan Penyebaran Diare Di Kabupaten Langkat. *Cogito Smart Journal*, II (2): 108-119.
- Soesilo R. 1985. *Kitab Undang-Undang Hukum Pidana serta Komentar-Komentar Lengkap Pasal Demi Pasal*. Bogor: Politeia.
- Tan, P., Steinbach, M. dan Kumar, V.. 2006. *Introduction to Data Mining*. Boston: Addison-Wesley.
- Wardhani, A.K. 2016. Implementasi Algoritma K-Means Untuk Pengelompokkan Penyakit Pasien Pada Puskesmas Kajen Pekalongan. *Jurnal Transformatika*, XIV (1): 30-37.

APLIKASI PENENTUAN JALUR TERDEKAT KE LOKASI ATM MENGGUNAKAN ALGORITMA DIJKSTRA

¹Gledys F Sigarlaki, ²Debby Paseru, ³Thomas Suwanto

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Katolik De La Salle Manado
Jl. Kairagi 1, Kombos Manado
Telepon (0431)813160

E-mail: gledysfidelia@gmail.com, dpaseru@unikadelasalle.ac.id, tsuwanto@unikadelasalle.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan teknologi saat ini sudah berlangsung sangat pesat diberbagai kalangan. Salah satu contoh teknologi yang sering digunakan yaitu Anjungan Tunai Mandiri (ATM). ATM digunakan untuk melakukan proses transaksi. Banyak masyarakat yang sudah menggunakan ATM tetapi belum dapat mengetahui setiap letak posisi ATM yang ada, khususnya di bagian Kecamatan Wenang Kota Manado. Aplikasi Penentuan Jalur Terdekat Ke Lokasi ATM ini akan menggunakan Algoritma Dijkstra dimana algoritma ini akan mencari jalur terdekat dari lokasi pengguna ke lokasi ATM yang dicari. Algoritma Dijkstra akan digunakan dalam penelitian algoritma ini memiliki kriteria yang dapat menentukan jalur terdekat. Pengujian terhadap aplikasi yang dibuat menyimpulkan bahwa aplikasi bisa menentukan jalur terdekat ke lokasi ATM.

Kata Kunci: Lokasi ATM, Pencarian Rute Terpendek, Algoritma Dijkstra

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

ATM adalah singkatan dari Anjungan Tunai Mandiri / *Automatic Teller Machine* yang merupakan salah satu teknologi yang menerapkan konsep proses data berbasis digital (Ummulhadi, 2016). Mesin ATM ini memiliki cara sendiri dalam bertransaksi yaitu langsung ke lokasi ATM tersebut, berbeda dengan *m-banking* dan *SMS banking* yang dapat melakukan transaksi dimana saja dan kapan saja. Untuk itu dalam mencari solusi agar masyarakat tidak membuang banyak waktu dalam mencari ATM, maka pada kasus ini akan dibuat Aplikasi Penentuan Jalur Terdekat ke Lokasi ATM menggunakan algoritma Dijkstra khususnya pada Kecamatan Wenang di Manado.

Dengan perkembangan teknologi saat ini, maka sudah dikembangkan algoritma yang dapat membantu mencari jalur terpendek. Dari beberapa algoritma yang disediakan, penulis mencari solusi dalam permasalahan ini yaitu menggunakan Algoritma Dijkstra untuk memperoleh jalur terpendek. Algoritma Dijkstra bekerja dengan cara mengunjungi simpul-simpul yang ada, dimulai dari simpul sumber kemudian algoritma ini memilih simpul-simpul yang lokasinya terdekat dan dilakukan secara berulang lalu menghitung total bobot semua sisi yang dilewati untuk mencapai simpul tujuan (Setiadi, 2017).

Dalam penelitian sebelumnya yang dikemukakan oleh (Triansyah, 2013), dijelaskan mengenai penerapan algoritma yang sama untuk menentukan rute terpendek. Namun belum bisa menambahkan fitur tambah, edit, hapus ATM dan tampilan yang disediakan belum menarik. Oleh karena itu penulis akan mengembangkan penelitian sejenis dengan objek berbeda yaitu pencarian jalur terdekat ke lokasi ATM dengan menggunakan algoritma Dijkstra beserta fitur tambah, *edit*, hapus ATM. Penggunaan fitur pada penelitian ini untuk mempermudah melakukan pembaharuan pada aplikasi apabila terdapat ATM baru yang belum sempat di perbaharui oleh google map.

1.2 Tujuan Penelitian

Untuk membuat Aplikasi Penentuan Jalur Terdekat ke Lokasi ATM menggunakan algoritma Dijkstra agar dapat mempermudah masyarakat dalam mengetahui dan menentukan jalur terdekat dari suatu lokasi ATM.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pencarian lokasi ATM terdekat hanya mencakup wilayah kecamatan Wenang.
2. ATM yang dipakai adalah BCA, BNI, BRI, dan Mandiri.

1.4 Metodologi Penelitian

Pada metodologi penelitian memiliki tiga tahapan yaitu; studi pustaka, pengumpulan data, dan pembuatan aplikasi menggunakan metodologi RUP pada tahap studi pustaka penulis mengambil beberapa referensi dari situs

online, jurnal dan buku. Pada tahap pengumpulan data penulis mengambil data dari google map. Pada tahap ketiga pembuatan aplikasi menggunakan metodologi *RUP* untuk melakukan perancangan pada aplikasi.

1.5 Tinjauan Pustaka

1.5.1 ATM

Menurut Damaris (2014), “pengertian ATM adalah sebuah alat elektronik yang mengijinkan nasabah bank untuk mengambil uang dan mengecek rekening tabungan mereka tanpa perlu dilayani oleh seorang *teller*” manusia.” Banyak ATM juga mengizinkan penyimpanan uang atau cek, transfer uang atau bahkan membeli perangkat. ATM adalah semacam kartu yang diberikan kepada nasabah yang diterbitkan oleh kantor pusat bank tertentu melalui *card center* kantor pusat atau kantor cabang pada suatu lembaga keuangan bank tersebut.

ATM saat ini memasuki operasional pelayanan secara penuh dan merupakan suatu teknologi yang menjadi dasar pembuatan jaringan-jaringan baru. ATM merupakan salah satu jasa Bank yang berfungsi sebagai perantara melakukan transaksi yang dilakukan oleh nasabah dengan petugas perbankan (*teller*) yang bertujuan mencapai kemudahan dalam bertransaksi. Kemajuan teknologi informasi perbankan telah mampu melahirkan keberadaan ATM untuk membantu dan mempermudah nasabah dalam transaksi. Secara umum fungsi ATM sudah banyak diketahui oleh masyarakat luas yaitu sebagai alat bantu untuk melakukan penarikan tunai.

Dalam pengertiannya, walaupun mesin ATM tersebut bersama isi uang yang ada dalam mesin adalah hak milik dari bank yang bersangkutan, tapi hak guna pakainya adalah fasilitas umum, Hal ini yang perlu disadari bersama dan dimanfaatkan bersama-sama demi kepentingan bersama (simbiose mutualisme) agar tidak terjadi penyalahgunaan dalam penggunaan ATM tersebut (Setyoputra, 2006).

1.5.2 Algoritma Dijkstra

Algoritma Dijkstra dinamai sesuai dengan nama penemunya yaitu Edsger Dijkstra. Algoritma Dijkstra menggunakan prinsip Greedy, dimana pada setiap langkah dipilih sisi dengan bobot minimum yang menghubungkan sebuah simpul yang sudah terpilih dengan simpul lain yang belum terpilih. Algoritma Dijkstra bekerja dengan cara mengunjungi simpul-simpul yang ada, dimulai dari simpul sumber. kemudian algoritma ini memilih simpul-simpul yang lokasi nya terdekat dan dilakukan secara berulang lalu menghitung total bobot semua sisi yang dilewati untuk mencapai simpul tujuan (Setiadi, 2017).

Algoritma ini sangat membantu dalam menentukan jalur terpendek karena bukan hanya berpatokan pada jalur terpendek tetapi semua *vertex* yang ada dihitung dari urutan jarak tertentu untuk menemukan jalur terdekat yang sudah menjadi tujuan oleh pengguna. Berikut ini merupakan rumus dan langkah-langkah dalam algoritma Dijkstra (Ferdiansyah dan Rizal, 2013).

$$V(G) = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$$

$$L = \text{Himpunan node } V(G) \text{ yang sudah terpilih dalam jalur terpendek}$$

$$D(j) = \text{Jumlah bobot jarak terkecil dari } v_1 \text{ ke } v_j$$

$$W(i,j) = \text{Bobot garis dari node } v_i \text{ ke node } v_j$$

$$W^*(1,j) = \text{Jumlah bobot jarak terkecil dari } v_1 \text{ ke } v_j$$

$$L = \{ \}$$

$$V = \{v_2, v_3, \dots, v_n\}$$

$$\text{Untuk } i = 2, 3, \dots, n, \text{ lakukan } D(i) = w(1, i)$$

Selama vn L lakukan :

Pilih *node* vk $V - L$ dengan $D(k)$ terkecil

$$\text{a. } L = L \cup \{vk\} \tag{i}$$

$$\text{b. Untuk setiap } vj \in V - L \text{ lakukan :} \tag{ii}$$

Jika $D(j) > D(k) + w(k, j)$ maka ganti $D(j)$

Dengan $D(k) + w(k, j)$

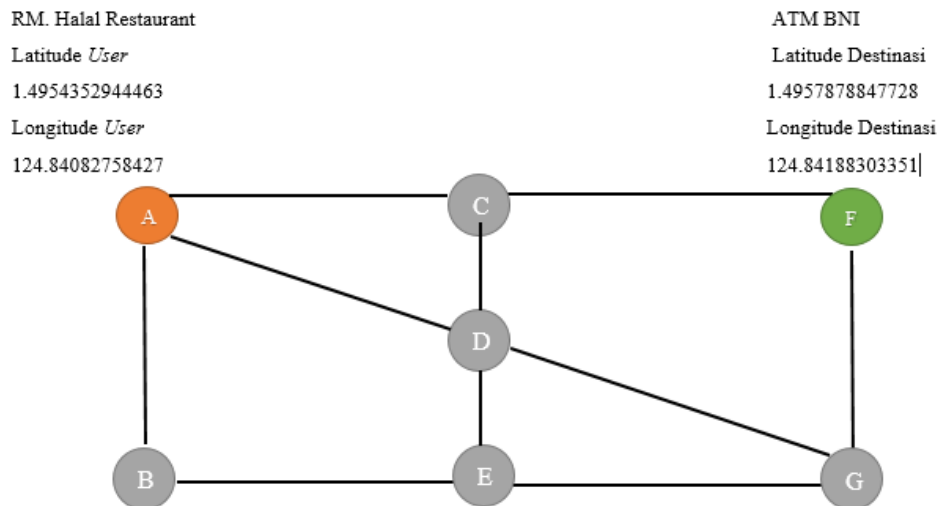
Untuk setiap $vj \in V, w^*(1, j) = D(j)$

2. PEMBAHASAN

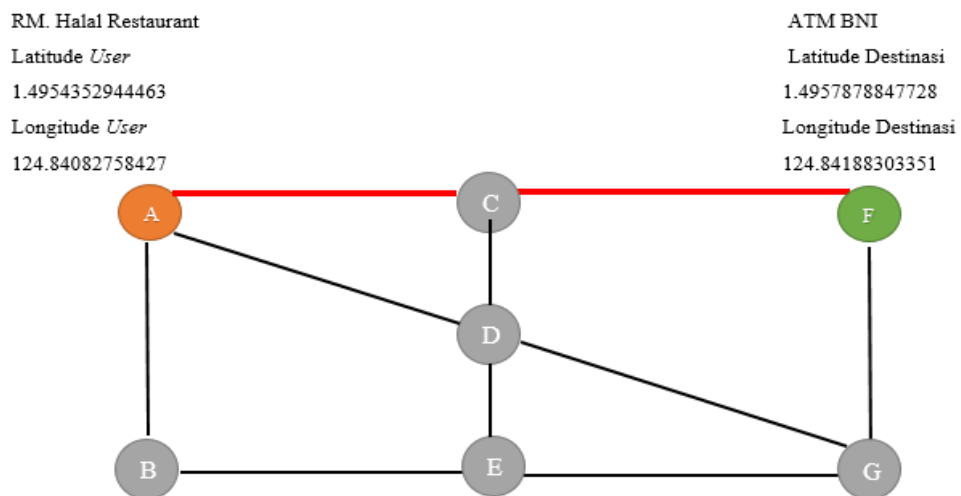
Pada bagian ini akan diberikan penjelasan mengenai proses analisis kebutuhan pengguna dan menganalisis setiap fitur yang akan dibuat pada aplikasi. Untuk pembuatan aplikasi akan dilakukan dengan mengikuti tahapan *RUP*, yaitu: *inception, elaboration, construction, transition*.

A. Analisis Kebutuhan

Dalam analisis ini penggunaannya adalah orang-orang yang ingin mencari jalur terdekat ke lokasi ATM dan belum mengetahui keseluruhan lokasi-lokasi yang berada pada Kecamatan Wenang. Untuk kebutuhan aplikasi akan menggunakan jaringan karena memakai Google Map untuk itu sangat diperlukan dalam kelancaran penggunaan aplikasi.



Gambar 1. Graf dari titik awal dan titik tujuan

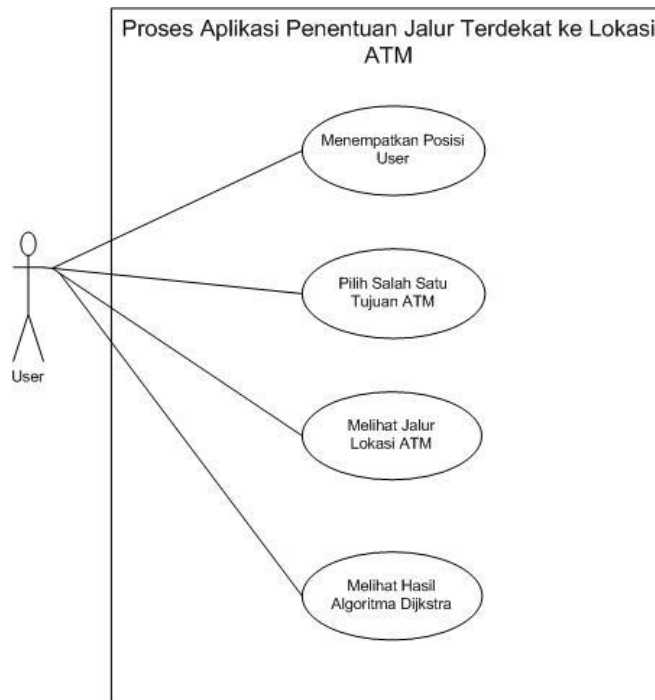


Gambar 2. Graf Rute Terpendek dengan Algoritma Dijkstra

B. Pembuatan pada aplikasi mengikuti tahapan RUP, yaitu: *Inception, elaboration, contruction, transition*

Inception

Tahapan ini dilakukan untuk memenuhi kebutuhan pada aplikasi dimana hasilnya berupa penggambaran *use case diagram* untuk Aplikasi Penentuan Jalur Terdekat Ke Lokasi ATM Menggunakan Algoritma Djikstra yang dapat dilihat pada Gambar 1.



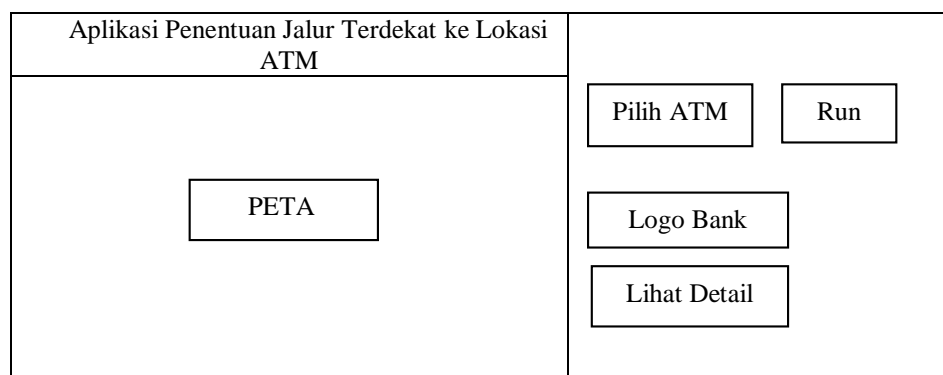
Gambar 3. Use Case Diagram Proses Aplikasi Penentuan Jalur Terdekat ke Lokasi ATM

Pada Gambar 3 pengguna menjelaskan proses atau tahapan dari Aplikasi Penentuan Jalur Terdekat ke Lokasi ATM. Pertama adalah menempatkan posisi *user* dimana pengguna dapat memilih keberadaan dan posisi *user* sendiri, kedua pengguna dapat memilih salah satu tujuan ATM sesuai kebutuhan dari pengguna, dan ketiga pengguna dapat melihat jalur lokasi ATM dimana jalur ini adalah jalur terdekat untuk ke lokasi ATM dan Keempat adalah melihat hasil Algoritma ini dimana pengguna dapat melihat hasil detail perhitungan Algoritma Dijkstra dalam menentukan jalur terdekat ke lokasi ATM.

Dari penelitian ini akan menunjukkan posisi *user* pada rumah makan Halal Restaurant yang beralamat Jl.Rumambi Calaca Wenang dengan Latitude *User* 1.4954352944463 dan longitude *User* 124.84082758427. untuk lokasi tujuan ATM BNI berada pada Pinaesaan Wenang dengan Latitude Destinasi 1.4957878847728 dan Longitude Destinasi 124.84188303351. Hasil dalam perhitungan menggunakan Algoritma Dijkstra dapat dilihat pada Tabel 1.

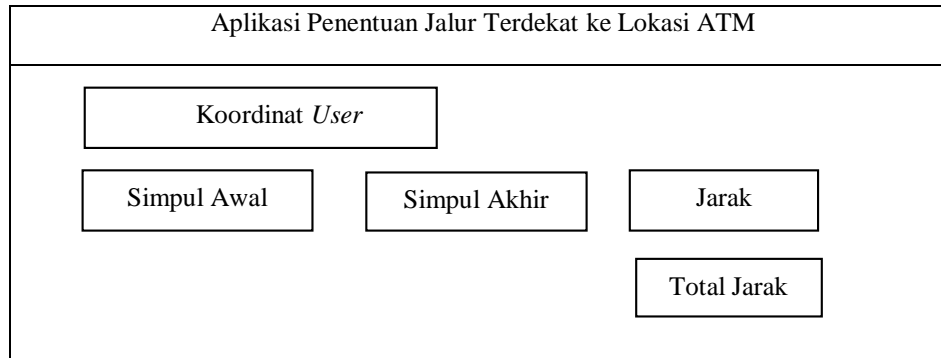
Elaboration

Tahapan bagian kedua ini membahas tampilan pada aplikasi yang digambarkan dalam bentuk *storyboard* sebagai berikut :



Gambar 4. Storyboard Aplikasi Penentuan Jalur Terdekat Ke Lokasi ATM

Gambar 4 menjelaskan antar muka halaman utama aplikasi dimana ada beberapa menu yaitu: pilih ATM untuk menu ini pengguna akan memilih salah satu ATM yang akan digunakan kemudian menu *run* akan mencari jalur terdekat ke lokasi ATM. Untuk menu lihat *detail* akan menunjukkan hasil perhitungan dari Algoritma Dijkstra.



Gambar 5. Storyboard Perhitungan Aplikasi Penentuan Jalur Terdekat Ke Lokasi ATM

Gambar 5 akan menjelaskan antar muka aplikasi yang menggunakan algoritma Dijkstra dan untuk mendapatkan hasil dari algoritma maka simpul awal, simpul akhir dan jarak akan melakukan proses perhitungan. Dari gambar ini kita bisa melihat bagaimana proses algoritma Dijkstra akan mulai melakukan pencarian lokasi ATM.

Construction

Pada tahap ini akan memperlihatkan implementasi pengujian dari penelitian ini. Di bawah ini adalah hasil dari pengujian. Aplikasi disertai perhitungan algoritma Dijkstra sebagai berikut:

Tabel 1 adalah hasil dari perhitungan Algoritma Dijkstra dan sebagai contoh pengguna akan menentukan simpul awal dengan Latitude *User* 1.4954352944463 dan Longitude *User* 124.84082758427 yang berada pada rumah makan Halal Restaurant yang beralamat Jl.Rumambi Calaca Wenang kemudian ATM yang ingin dicari berada di Latitude Destinasi 1.4957878847728 dan Longitude Destinasi 124.84188303351 ATM BNI berada pada Pinaesaan Wenang. sehingga jalur terpendeknya adalah 312.103843377 m.

Latitude <i>User</i>	Longitude <i>User</i>
1.4950006066276	124.84201289409

Latitude Destinasi	Longitude Destinasi
1.4957878847728	124.84188303351

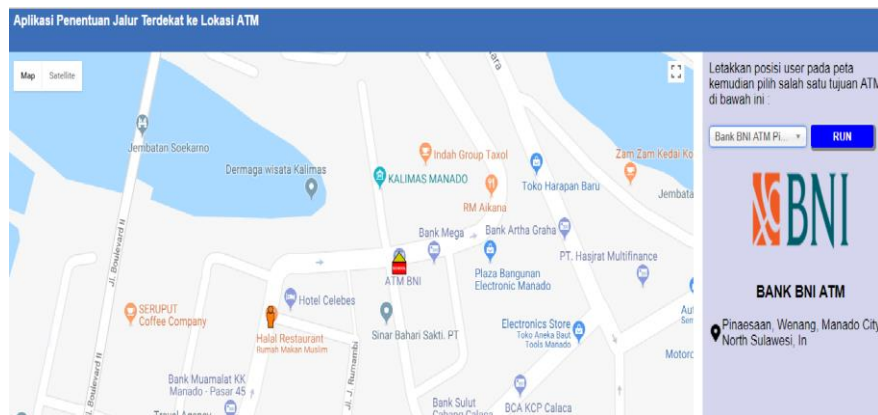
Tabel 1. Hasil Perhitungan Algoritma Dijkstra

No.	Simpul Awal	Simpul Akhir	Jarak
1.	0	1	130.21477366075 m
2.	1	0	130.21477366075 m
3.	1	2	19.77190616513 m
4.	2	1	19.77190616513 m
5.	2	3	272.77256459252 m
6.	3	2	272.77256459252 m
.....

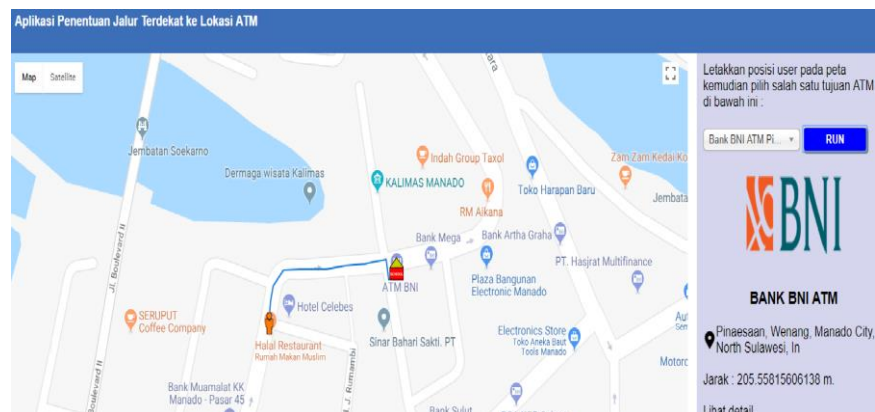
1099.	425	424	138.84800474004 m
1100.	424	425	138.84800474004 m
.....
1102	Simpang_awal	15	25.976871194956 m
.....
1113	13	Simpang_tujuan	13.973855129113 m

Jalur							
Simpul:	Simpang_awal	→	15	→	13	→	Simpang_tujuan
Jarak	0m	+	25.9768711949m	+	136.07655852647m	+	150.05041365558m
						Total Jarak	312.103843377 m

Untuk memperjelas lokasi yang dimaksud dapat melihat gambar 6 dan 7. Pada gambar 5 terdapat posisi *user* dan ATM tujuan sedangkan pada gambar 6 adalah hasil penentuan jalur terdekat ke lokasi ATM.



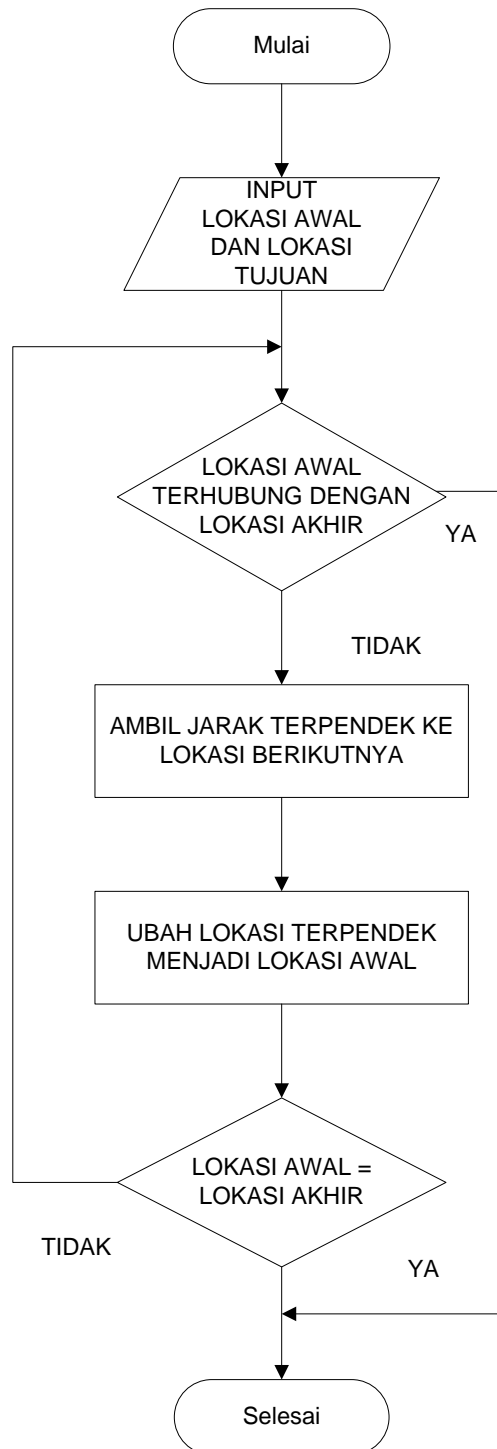
Gambar 6. Tampilan Posisi User dan ATM Tujuan



Gambar 7. Tampilan Jalur Terpendek

Transition

Untuk tahap ini akan menunjukkan bagaimana proses dari Algoritma Dijkstra dan hasil pengujian yang dilakukan untuk penelitian ini.



Gambar 8 . Flowchart Algoritma Dijkstra

Hasil dari aplikasi ini kemudian diuji seperti pada tabel 2 dan tabel 3. Tabel 2 merupakan hasil pengujian aplikasi, sedangkan tabel 3 merupakan hasil pengujian yang diberikan kepada 20 responden dengan jumlah 6 pertanyaan dan 20 responden menjawab (100%) setuju bahwa aplikasi yang dibuat dapat membantu mereka dalam mencari rute terdekat ATM.

Tabel 2. Hasil Uji Coba Aplikasi

No	Titik Pemeriksaan	Ya atau Tidak
1.	Apakah saat <i>running</i> pada aplikasi akan terjadi <i>error</i> ?	Tidak
2.	Apakah penerapan Algoritma Dijkstra pada aplikasi berhasil?	Ya
3.	Apakah aplikasi bisa menentukan jalur terpendek ke lokasi ATM?	Ya

Tabel 3. Hasil Uji Coba Pada Responden

No	Titik Pemeriksaan	Ya atau Tidak
1.	Apakah aplikasi dapat menampilkan halaman peta?	Ya
2.	Apakah aplikasi dapat menentukan posisi <i>user</i> ?	Ya
3.	Apakah aplikasi dapat menampilkan lokasi ATM?	Ya
4.	Apakah aplikasi dapat menampilkan logo bank?	Ya
5.	Apakah aplikasi dapat menampilkan jalur terdekat?	Ya
6.	Apakah aplikasi dapat menentukan jalur terdekat ke lokasi ATM?	Ya

3. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa algoritma Dijkstra berhasil diterapkan dalam bentuk berbasis *web*. Aplikasi ini membantu masyarakat untuk melakukan pencarian jalur terdekat ke lokasi ATM khususnya pada wilayah Kecamatan Wenang. Untuk pengembangan sistem selanjutnya sebaiknya menggunakan *mobile platform* untuk memudahkan pengguna dalam menggunakan aplikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Umulhadi, H L. 2016. Rancang Bangun Sistem Informasi Geografis untuk Membantu Pencarian Jalur Terpendek Menuju ATM Bank BRI dengan Metode *Tabu Search Algorithm (TS)*. *Jurnal Ilmiah ILKOM*, (Online), Volume 8, No. 3, (<http://jurnal.fikom.umi.ac.id>, diakses 12 Mei 2018).
- Teguh S. 2017. Pencarian Jalur Terpendek Menuju Pom Bensin Pada Kota Semarang Menggunakan Algoritma Dijkstra Berbasis Sistem Informasi Geografis (GIS). *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*.(Online), Volume 8 No. 2, (<http://ejurnal.provisi.ac.id>, diakses 14 Mei 2018).
- Triansyah A. P. 2013. Implementasi Algoritma Dijkstra dalam Aplikasi untuk Menentukan Lintasan Terpendek Jalan Darat Antar Kota Di Sumatera Bagian Selatan. *Jurnal Sistem Informasi* (Online), Volume 5, No. 2, (<https://ejournal.unsri.ac.id>, diakses 5 Juli 2018).
- Ferdiansyah, R A. 2013. Penerapan Algoritma Dijkstra Untuk Menentukan Rute Terpendek Pembacaan *Water Meter* Induk PDAM Tirta Kerta Raharja Kabupaten Tangerang. *Jurnal TICOM*. (Online), Volume 2, No. 1, (<https://media.neliti.com>, diakses 18 Mei 2018)
- Damaris R, Sitanggang M, Simanjuntak R. Sistem Pengendalian Intern Atas Transaksi Penerimaan dan Pengeluaran Kas Anjungan Tunai Mandiri (ATM) PT Bank Central Asia, Tbk. *Jurnal Ilmiah Buletin Ekonomi* (Online) Volume 18 No.2, (<http://ejournal.uki.ac.id>, diakses 17 Mei 2018).
- T. Harianto Setyoputra. 2006. *Cari Uang Itu Mudah Pedoman dan Solusi Sukses*.

SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS PEMETAAN PASAR TRADISIONAL DI KOTA KUPANG BERBASIS WEB

Jetri Nabuasa¹, Natalia Magdalena R. Mamulak²

*^{1,2}Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandira
Jalan Jendral Ahmad Yani No.50-52, Merdeka, Kupang, Nusa Tenggara Timur
Telp. (0380) 833395*

E-mail: nabuasayetri@gmail.com, mamulak.natalia@gmail.com

ABSTRAK

Pasar merupakan tempat masyarakat membeli dan menjual kebutuhan pokok, seperti bahan pangan untuk sehari-hari. Kota Kupang memiliki 7 pasar tradisional yang tersebar pada beberapa kecamatan, yang dikelola oleh Perusahaan Daerah (PD) Pasar Kota Kupang. Dalam perkembangan saat ini, pasar tradisional perlahan mulai ditinggalkan oleh masyarakat karena tidak adanya harga dasar setiap komoditi dan biaya sewa tempat/kios yang tidak menentu. Hal ini menyebabkan pedagang menentukan harga komoditi berdasarkan kehendaknya dan tidak teraturnya tempat dan jenis komoditi di pasar. Sehingga membutuhkan suatu sistem informasi harga komoditi dan pemetaan pasar. Metode yang digunakan dalam pengembangan sistem adalah metode pengembangan perangkat lunak dengan model Unified Process. Tahapan dalam penelitian ini adalah pengumpulan data, analisis, desain sistem, implementasi dan pengujian. Penelitian ini menghasilkan Sistem Informasi Geografis Pemetaan Pasar Tradisional Di Kota Kupang Berbasis Web, sehingga membantu masyarakat mengetahui informasi harga komoditi di pasar.

Kata Kunci: GIS, UP, Kota Kupang, Pasar, Komoditi

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pasar tradisional di Kota Kupang terdiri atas 2 kategori yaitu pasar tradisional dan pasar industri. Pasar tradisional adalah pasar yang dibangun dan dikelola oleh pemerintah pusat, Badan Usaha Milik Negara (BUMN), Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) dan pihak swasta yang tempat usahanya berupa kios, toko, tenda dan lapak yang dikelola oleh pedagang kecil, menengah dan koperasi. Sedangkan pasar industri adalah hasil swadaya dari masyarakat.

Meskipun merupakan Kota besar keberadaan pasar di Kota Kupang sudah mulai tersisih karena kebanyakan pedagang yang berjualan di pasar mengambil hasil bumi dari petani kemudian diperdagangkan di tiap-tiap pasar dengan harga yang berbeda-beda sehingga para pembeli juga merasa kebingungan karena informasi mengenai komoditi tiap pasar sangat berbeda yang mengakibatkan pembeli cenderung beralih ke pasar modern karena di pasar modern juga menyediakan hampir semua jenis barang yang dibutuhkan oleh masyarakat. Menurut data dari Perusahaan Daerah (PD) pasar Kota Kupang jumlah pasar tradisional yang bekerjasama dengan PD pasar Kota Kupang sebanyak 7 pasar yang tersebar di wilayah Kota Kupang dengan komoditi dari masing-masing pasar.

1. Pasar Kasih (pasar tradisional) terletak diantara jalan Soeharto dan jalan Eltari kelurahan Naikoten I kecamatan Oebobo dengan luas lahan ± 1.250 Ha dan mulai beroperasi pada tahun 1974. Komoditi yang diperdagangkan berupa bahan pangan.
2. Pasar Fatubesi (pasar tradisional) didirikan pada tahun 1980 yang terletak di kelurahan Fatubesi kecamatan Kota Lama dengan luas lahan ± 2 Ha. Komoditi yang diperdagangkan berupa bahan pangan.
3. Pasar Oebobo (pasar tradisional) berada diatas lahan seluas ± 1 Ha yang terletak di kelurahan Fatululi kecamatan Oebobo yang dibangun sejak tahun 1981. Komoditi yang diperdagangkan berupa bahan pangan.
4. Pasar Kuanino (pasar tradisional) terletak di jalan pemuda kelurahan Kuanino kecamatan Oebobo dengan luas lahan ± 2.000 M² dan berdiri pada tahun 1978. Komoditi yang diperdagangkan berupa bahan pangan.
5. Pasar Stadion Merdeka terletak diantara jalan Ahmad Yani kelurahan Merdeka, kecamatan Kota Lama yang berdiri diatas lahan seluas ± 1.800 M² dan didirikan pada tahun 1974. Jenis usaha yang dikelola antara lain: salon kecantikan, warung makan, kios, conter, jasa pengiriman barang (Tiki) dan penjualan krans bunga.
6. Pasar Jalan Udayana (pasar industri) terletak di kelurahan Solor kecamatan Kota Lam. Berdiri pada tahun 1980 diatas lahan seluas ± 200 M². Kegiatan usaha yang dilakukan oleh pedagang disana yakni penjahit pakaian.
7. Pasar Kelurahan Penfui (pasar tradisional) terletak di kelurahan Penfui kecamatan Maulafa. Komoditi yang diperdagangkan berupa bahan pangan.

Pasar tradisional lain yang tidak bekerjasama dengan PD pasar Kota Kupang antara lain:

1. Pasar Oesapa (pasar tradisional) yang terletak di jalan Kusambi II kelurahan Oesapa kecamatan Kelapa lima. Komoditi yang dihasilkan berupa bahan pangan.
2. Pasar Ikan Segar Kelapa Lima (pasar tradisional)
3. Pasar Oesao terletak Kabupaten Kupang. Komoditi yang diperdagangkan berupa bahan pangan.
4. Pasar ikan Felaleo yang terletak di kelurahan pasir panjang kota Kupang.

Semua pasar yang berada di Kota Kupang maupun di wilayah Kabupaten Kupang memiliki jumlah pedagang yang berbeda. Pedagang pasar tradisional dibagi menjadi dua yaitu: pedagang tetap dan pedagang tidak tetap. Pedagang tetap adalah setiap pedagang yang melakukan kegiatannya secara tetap dengan menggunakan tempat berjualan secara permanen diareal pasar dan lingkungan pasar. Sedangkan pedagang tidak tetap adalah setiap pedagang yang tidak melakukan kegiatannya dan tidak mempergunakan tempat dagang secara permanen diareal pasar dan lingkungan pasar. Luas lapak yang diberikan kepada setiap pedagang ± 2 meter dengan biaya retribusi Rp2.000/hari baik pedagang tetap ataupun tidak tetap dikenakan tarif yang sama. Sedangkan harga sewa lapak sendiri dikenakan tarif Rp15.000/lapak yang sudah termasuk dengan biaya kebersihan.

Selain itu pengumpulan dan penyimpanan data pasar tradisional yang dilakukan pemerintah masih bersifat manual yaitu dengan melakukan pendataan langsung ke lokasi dan ditulis pada buku tagihan retribusi serta penyimpanan data menggunakan dokumen *hardcopy* sehingga menyita banyak tempat, waktu, dan data yang ada belum valid.

Perkembangan teknologi informasi seperti yang kita ketahui saat ini sangat berkembang pesat. Salah satu kemajuannya adalah di bidang GIS (*Geographic Information System*). GIS merupakan perangkat lunak pengolah data serta informasi yang tampilannya atau hasil cetaknya umumnya berupa peta. Teknologi GIS saat ini sudah berbasis *web* yang berarti dapat diakses lewat internet dan dapat diakses dimana saja. Secara umum Sistem Informasi geografis dikembangkan berdasarkan pada prinsip masukan (*input*) data, manajemen, analisis dan representasi data. Perkembangan tersebut seharusnya bisa dimanfaatkan oleh pemerintah untuk menyebarkan informasi tentang lokasi-lokasi pasar tradisional serta informasi lainnya yang berkaitan dengan pasar tradisional.

Penelitian mengenai sistem informasi geografis yang dilakukan oleh Mamulak (2014) terkait sebaran tutupan lahan pemukiman penduduk di Kota dan Kabupaten Kupang dengan pengembangan cloud computing menghasilkan informasi mengenai lokasi, tipe, spesifikasi dan fasilitas yang disediakan dan ada disekitar hunian serta rute dan penunjuk jalan menuju lokasi hunian.

Berdasarkan permasalahan di atas maka perlu adanya **Sistem Informasi Geografis Pemetaan Pasar Tradisional Di Kota Kupang Berbasis Web** sehingga memberikan informasi komoditi dan harga barang di pasar.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana merancang bangun suatu sistem informasi geografis pemetaan pasar tradisional di Kota Kupang yang dapat memberikan informasi pasar, informasi komoditi dan harga barang di pasar berbasis web?

1.3 Tujuan

Menghasilkan suatu sistem informasi geografis pemetaan pasar tradisional di Kota Kupang berbasis web yang dapat memberikan informasi pasar, informasi komoditi dan harga barang di pasar

1.4 Metodologi Penelitian

Penelitian rekayasa perangkat lunak yang digunakan dalam merancang aplikasi ini adalah model *Unified Process*, yang terdiri dari beberapa tahapan yaitu:

1. Inception

Pada tahap ini lebih fokus pada perencanaan, proses pengumpulan data berdasarkan kebutuhan pengguna sistem. Pada tahap ini dilakukan observasi dan wawancara dengan kepala unit di tiap pasar serta penjual dan pembeli yang berada di pasar.

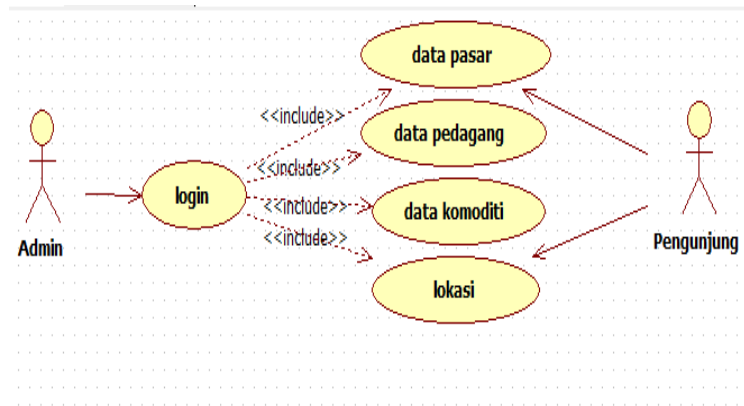
- a. Kepala Unit: hasil wawancara ini adalah pihak PD Pasar kesulitan dalam mendata pasti mengenai pedagang dan komoditi pada masing-masing pasar
- b. Penjual dan pembeli: hasil wawancara ini adalah kesulitan dalam mengetahui harga dasar setiap komoditi

2. Elaboration (Tahap Analisis dan Desain Sistem)

Tahap ini lebih fokus pada analisis dan desain sistem. Tahap ini juga dapat mendeteksi apakah arsitektur sistem yang diinginkan dapat dibuat atau tidak mendeteksi resiko yang mungkin terjadi dan arsitektur yang dibuat.

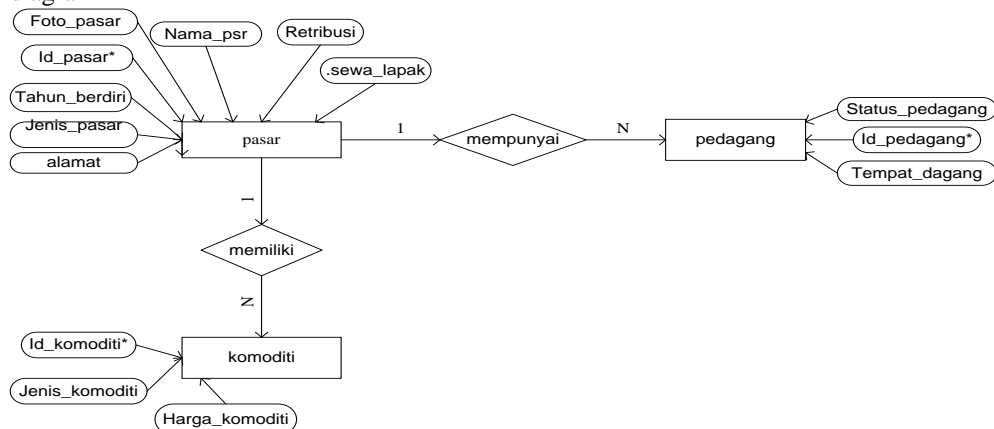
a. Use Case diagram

Use case untuk memodelkan dan menyatakan unit fungsi/layanan yang disediakan oleh sistem



Gambar 1. Use Case

b. ER diagram



Gambar 2. ER diagram

3. Construction

Tahap ini difokuskan pada proses pembuatan aplikasi yakni proses *coding*. Tahap *coding* (pemrograman) merupakan proses tahapan menterjemahkan data atau pemecahan masalah yang telah dirancang ke dalam bahasa pemrograman komputer yang telah ditentukan. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah *PHP* dan database *MySQL*.

4. Transition

pada tahap ini difokuskan pada implementasi dan pengujian. Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah aplikasi yang dibangun telah berjalan dengan baik dan sudah memenuhi harapan *user* atau tidak. Pengujian sistem ini dilakukan dengan menggunakan metode pengujian *black box*.

Tahap selanjutnya adalah proses implementasi sistem, dimana sistem baru yang dibangun akan diletakkan supaya bisa dioperasikan oleh *user*. Sosialisasi yang dilakukan dengan tujuan untuk memperkenalkan sistem yang dibangun kepada *user* sehingga *user* dapat menggunakan sistem sesuai kebutuhannya.

1.5 Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai sistem informasi geografis telah banyak dilakukan, diantaranya oleh Mamulak (2014) tentang sistem informasi geografis sebaran tutupan lahan pemukiman penduduk di Kota dan Kabupaten Kupang

dengan pengembangan cloud computing menghasilkan informasi mengenai lokasi, tipe, spesifikasi dan fasilitas yang disediakan dan ada disekitar hunian serta rute dan penunjuk jalan menuju lokasi hunian.

Penelitian lain dilakukan oleh Tri (2016) mengenai sistem informasi geografis pasar tradisional di Kota Semarang menghasilkan sebuah sistem informasi geografis pasar tradisional di Kota Semarang dan *outputnya* berupa rute perjalanan ke lokasi pasar.

Penelitian ini merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Mamulak (2014) dengan menggunakan metode pengembangan perangkat lunak dengan model *Unified Process* akan menghasilkan Sistem ini akan menghasilkan informasi-informasi berupa nama pasar, alamat pasar, berbagai jenis komoditi pasar, omzet pasar/hari, harga sewa lapak, dan jarak tempuh ke lokasi pasar.

Sistem informasi geografis (SIG) atau *Geographic Information System (GIS)* adalah sistem berbasis komputer yang digunakan untuk menyusun, menyimpan, memanipulasi, mengolah, menampilkan dan menganalisis informasi geografis dan berbagai atribut yang menyertainya.

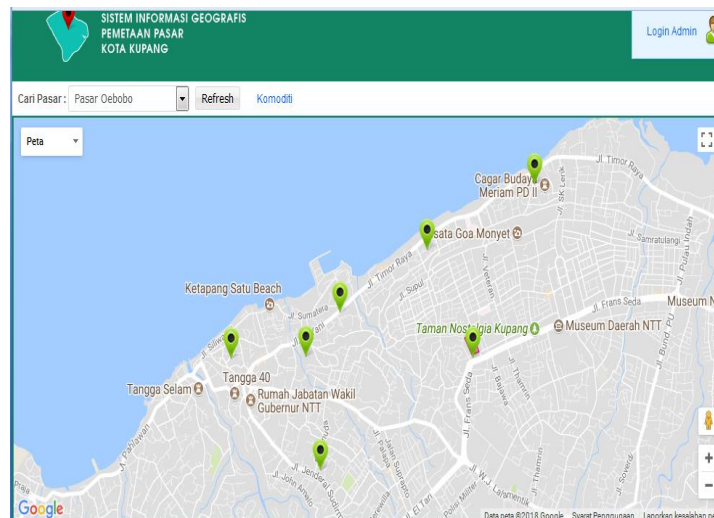
Web GIS adalah merupakan sistem informasi geografis berbasis web yang terdiri dari beberapa komponen yang saling terkait. Web-GIS merupakan gabungan antara desain grafis pemetaan, peta digital dengan analisa geografis, pemrograman komputer dan sebuah *database* yang terhubung menjadi satu bagian *web design* dan web pemetaan.

2. PEMBAHASAN

Hasil dari perancangan adalah implementasi sistem.

a. Menu Utama

Merupakan tampilan awal, berisi menu peta dan komoditi dari masing-masing pasar.

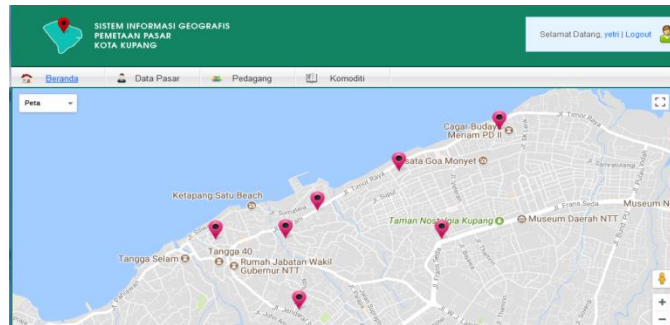


Gambar 3. Menu Utama

b. Form Login

Sebelum pengguna menjalankan aplikasi Sistem Informasi Geografis pasar ini, pengguna harus melakukan *login* terlebih dahulu.

Gambar 4. Form Login



Gambar 5. Menu Awal Admin

c. Menu Pasar

Menu ini berisi data pasar, yang terdiri dari peta, komoditi dan retribusi.

The screenshot displays the 'Menejemen Data Pasar' page. It includes a table with market information. The table has columns for 'No', 'Nama Pasar', 'Jenis Pasar', 'Retribusi', 'Harga Sewa Lapak', 'Alamat', '#', and 'Pilihan'. There are five rows of data, each with a corresponding market name and details. The table is titled 'Data Pasar' and includes a 'Tambah' button and a 'hapus yang ditandai' link. The total number of markets is shown as 'Jumlah Pasar: (10) Pasar Tradisional (3) Pasar Industri (2)'.

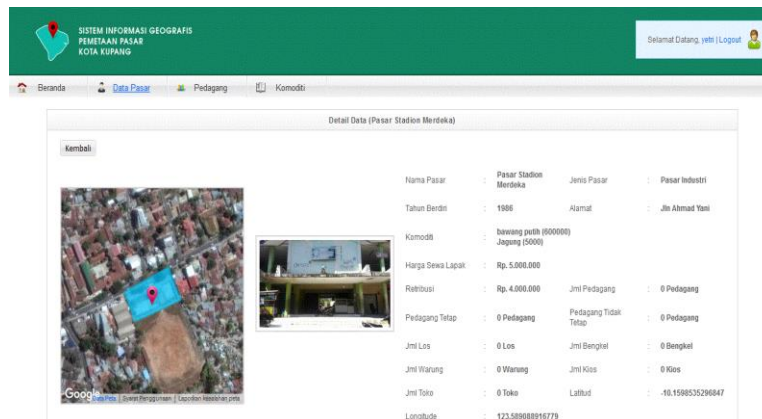
No	Nama Pasar	Jenis Pasar	Retribusi	Harga Sewa Lapak	Alamat	#	Pilihan
1	Pasar Stadion Merdeka	Pasar Industri	Rp. 2000/hari	Rp. 2.500.000/bulan	Jln Ahmad Yani	1	Edit Komoditi hapus tambah detail
2	Pasar Udayana	Pasar Industri	Rp. 2000/hari	Rp. 3.000.000/bulan	Jln Cendrawasih	1	Edit Komoditi hapus tambah detail
3	Pasar Kasih	Pasar Tradisional	Rp. 2.000/hari	Rp. 15.000/Lapak	Jln Soeharto	1	Edit Komoditi hapus tambah detail
4	Pasar Fatmehesi	Pasar Tradisional	Rp. 2.000/hari	Rp. 15.000/Lapak	Jln Fatmehesi	1	Edit Komoditi hapus tambah detail
5	Pasar Kuamio	Pasar Tradisional	Rp. 2.000/hari	Rp. 10.000/Lapak	Jln pemuda	1	Edit Komoditi hapus tambah detail

Gambar 6. Data Pasar

The screenshot shows the 'Harga Komoditi Pasar Stadion Merdeka' form. It has a title bar with the system name and a 'Selamat Datang, yehi | Logout' button. The form is titled 'Daftar Komoditi' and contains a table with two columns: 'Nama Komoditi' and 'Harga'. There is a text input field for the price, followed by a 'Simpan' button and a 'Batal' button.

Nama Komoditi	Harga
	Rp. 0

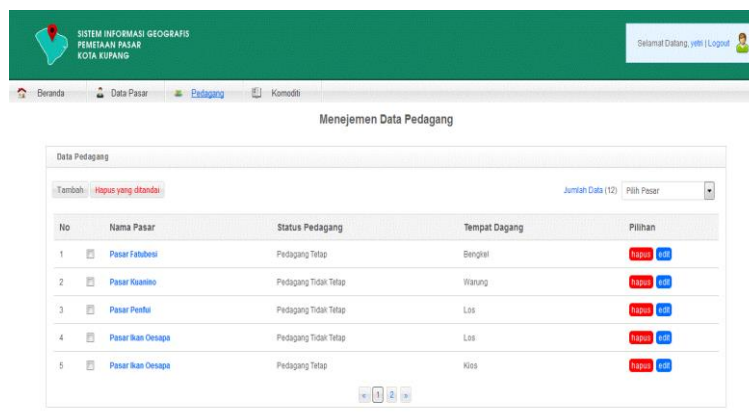
Gambar 7. Data Komoditi



Gambar 8. Data Pasar

d. Data Pedagang

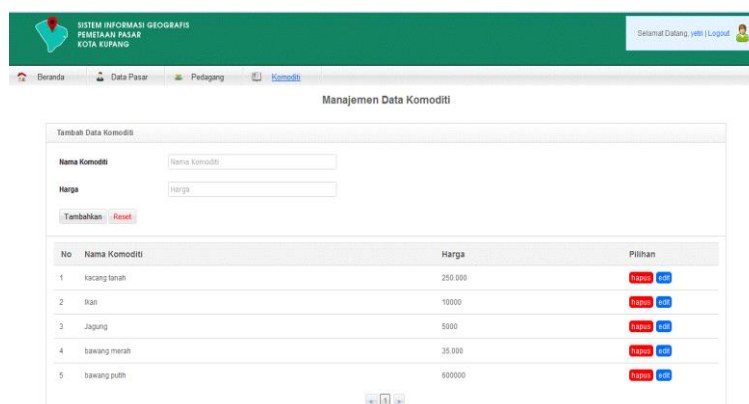
Menu ini berisi lokasi tempat jualan/kios yang terdapat di dalam pasar dan jenis komoditinya.



Gambar 9. Data Pedagang

e. Data Komoditi

Berisi data komoditi yang dijual pada masing-masing pasar



Gambar 10. Data Komoditi

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pengujian, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sistem ini mampu memberikan informasi tentang lokasi, komoditi serta harga komoditi setiap pasar
2. Dengan adanya aplikasi ini, dapat menjadi salah satu alternatif bagi Perusahaan Daerah Pasar Kota Kupang dalam memberikan informasi mengenai letak pasar yang dikelola, biaya retribusi, dan harga sewa lapak di setiap pasar.

PUSTAKA

- Budiyanto, E., 2016, *Sistem Informasi Geografis dengan Quantum GIS*, Andi, Yogyakarta
- Hariyanto, B., 2009, *Sistem Operasi*, Informatika, Bandung.
- Nugroho, A., 2010, *Algoritma dan Struktur Data dalam Bahasa Java*, CV ANDI OFFSET: Yogyakarta.
- Jogiyanto, H.M, 2005, *Analisis dan Desain Sistem Informasi: Pendekatan Terstruktur, Teori dan Praktik Aplikasi Bisnis*, CV ANDI OFFSET, Yogyakarta.
- Mamulak, N.M.R, 2014, *Sistem Informasi Geografis Sebaran Tutupan Lahan Pemukiman Penduduk Di Kota Dan Kabupaten Kupang*, Seminar Nasional Inovasi dan Tren (SNIT), pp. A.458-A.461, ISBN: 978-602-99213-7-3, Jakarta, 24 Mei 2014
- Riyanto., Prinali., Indelarko, H., 2009, *Pengembangan Aplikasi Sistem Informasi Geografis*, Gaya Media, Yogyakarta
- Try, Y.S., 2016, “Sistem Informasi Geografis pemetaan Pasar Tradisional Di Kota Semarang Berbasis Web”, *Published*, Jurusan Teknik Informatika, Universitas Diponegoro, Semarang

PENGUNAAN FUNGSI HEURISTIK SEDERHANA PADA NON-PLAYER CHARACTER PERMAINAN LUDO

R. Kristoforus Jawa Bendi¹, Amelia Sibagariang²

Program Studi Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Katolik Musi Charitas
Jalan Bangau No. 60, Palembang 30113
Telp. (0711) 366326

E-mail: kristojb@ukmc.ac.id, amel_riang@yahoo.co.id

ABSTRAK

Ludo merupakan salah satu permainan papan sederhana yang dimainkan oleh dua atau empat pemain. Di awal permainan, setiap pemain memiliki empat bidak yang diletakkan pada area rumah. Pemenang permainan adalah pemain pertama yang berhasil memindahkan seluruh bidaknya ke kotak finish. Saat ini permainan komputer dikembangkan dengan memanfaatkan kecerdasan tiruan (*artificial intelligence*). Dengan kecerdasan tiruan pemain (dalam hal ini manusia) dapat bermain sendiri melawan komputer. Tujuan penelitian ini adalah merancang kemampuan berpikir Non-Player Character (NPC) pada permainan Ludo yang akan bertindak sebagai lawan pemain. NPC yang dirancang dengan menggunakan fungsi heuristik sederhana, akan merepresentasikan tiga karakter, yakni: karakter agresif, karakter defensif dan karakter plin-plan. Analisis dan desain perangkat lunak Ludo didasarkan pada model sekuensial linier, dan dibangun dengan menggunakan bahasa pemrograman Visual basic. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fungsi-fungsi aplikasi dapat berjalan dengan baik. Pengujian terhadap NPC menunjukkan bahwa kemenangan NPC dengan karakter defensif mencapai 70%, sedangkan NPC dengan karakter agresif dapat mencapai tingkat kemenangan sebesar 60%.

Kata Kunci: ludo, heuristik, non-player character, model sekuensial linier, visual basic

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi informasi yang berkembang saat ini menjadikan komputer sebagai sarana informasi yang interaktif. Hal ini memicu berkembangnya industri permainan berbasis komputer (*computer games*). Akibatnya banyak permainan-permainan tradisional yang interaktif kemudian ditransformasikan ke dalam bentuk permainan komputer. Salah satu permainan tradisional yang dijadikan permainan komputer adalah Ludo.

Ludo merupakan salah satu jenis permainan papan sederhana. Permainan ini harus dimainkan oleh dua orang atau empat orang. Penerapan *artificial intelligence* (AI) dalam dunia permainan komputer, memungkinkan pemain (manusia) digantikan oleh komputer (*non-player character*). Dengan demikian, Ludo yang secara tradisional dimainkan oleh dua orang, setelah ditransformasikan menjadi permainan komputer, dapat dimainkan oleh satu orang saja. Sedangkan lawan mainnya dapat diwakili oleh komputer.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang perilaku *non-player character* (NPC) pada permainan ludo. NPC akan berfungsi sebagai pemain (atau lawan main) yang dikendalikan oleh komputer.

1.2 Tinjauan Pustaka

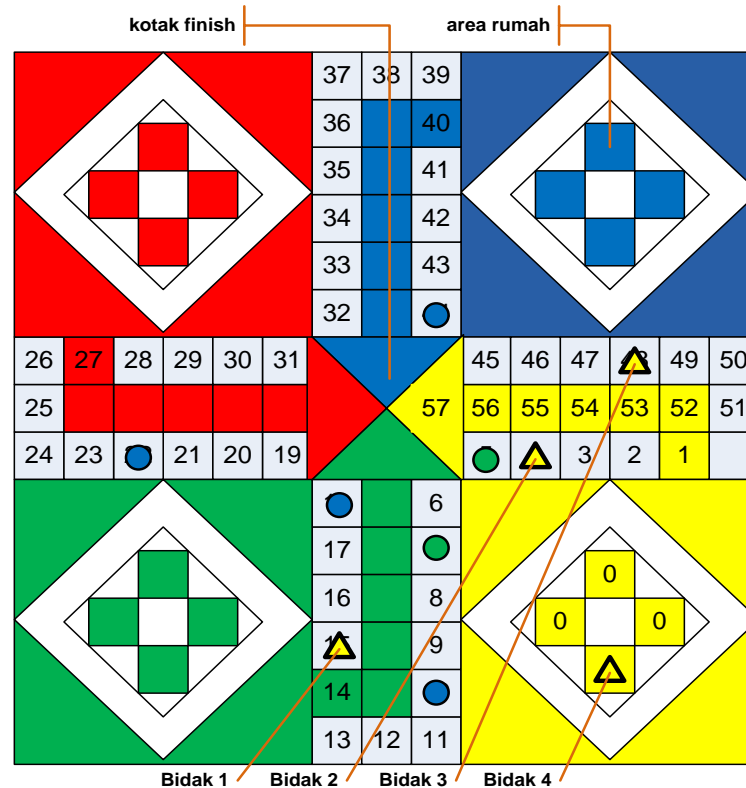
Permainan Ludo adalah permainan papan sederhana yang dimainkan oleh dua sampai empat pemain. Ludo berasal dari bahasa Latin yang bermakna "*I Play*" atau "Saya Bermain". Permainan ini sangat populer di banyak negara dan dikenal sebagai "*Ludi*" oleh orang Karibia, "*Fia med knuff*" oleh Swedia, "*Mens-erger-jeniet*" di Belanda, "*Mensch argere dich nicht*" di Jerman dan "*The Chinese*" di Polandia. Papan Ludo digambarkan pada Gambar 1 dengan tanda silang (*cross*). Masing-masing bagian pada tanda *cross* dibagi menjadi tiga kolom, dengan masing-masing kolom terdiri atas enam kotak. Titik tengah dari tanda silang adalah kotak *finish* yang dibagi menjadi empat buah segitiga yang berbeda warna. Pada permulaan permainan, keempat bidak ditempatkan pada area rumah. Pemain melempar dadu secara bergiliran. Ketika seorang pemain mendapatkan nilai dadu enam, maka pemain boleh mengeluarkan satu bidak dari rumah atau memilih untuk menggerakkan bidak lainnya yang sudah berada di luar rumah. Pemain juga mendapatkan bonus untuk melempar dadu lagi bila mendapatkan nilai dadu enam. Jika salah satu bidak pemain mengenai bidak pemain lainnya, maka bidak lawan dimakan dan dikembalikan lagi ke area rumah. Pemenang dari permainan Ludo adalah pemain pertama yang memindahkan semua bidaknya ke kotak *finish*.

Dewasa ini permainan komputer yang dikembangkan senantiasa melibatkan AI. Dengan penerapan AI ini para pengguna sistem dapat bermain sendiri dengan melawan sistem komputer (Hartanto, Purwadi, & Santosa, 2010).

Seperti halnya permainan papan lainnya, ludo juga diduga dapat dibuat menjadi permainan yang menggunakan AI. Dalam permainan komputer yang berbasis AI sering digunakan teknik pencarian (*searching*) tertentu dan masalah ruang dan keadaan (*state and space problem*).

Ruang keadaan (*state space*) merupakan suatu ruang yang berisi semua keadaan yang mungkin dalam suatu kasus AI. Kondisi dalam ruang keadaan meliputi:

- Keadaan sekarang (keadaan awal/*start state*).
- Keadaan tujuan (*goal state*), merupakan solusi yang dijangkau dan perlu diperiksa apakah telah mencapai sasaran.
- Kaidah atau aturan yang memberikan batasan-batasan bagaimana mengubah suatu keadaan menjadi keadaan lain.



Gambar 1. Papan permainan ludo

Salah satu contoh permainan yang menggunakan ruang dan keadaan (*state space*) adalah catur. Permainan catur dimulai dengan menempatkan diri pada keadaan awal, kemudian bergerak dari satu keadaan ke keadaan yang lain sesuai dengan aturan yang ada, dan mengakhiri permainan jika salah satu telah mencapai tujuan (Kusumadewi, 2003). Catur dan ludo termasuk dalam permainan papan sehingga penerapan masalah ruang dan keadaan pada catur diduga memiliki kesamaan dengan penerapannya pada ludo.

Hal terpenting dalam menentukan keberhasilan sistem yang berbasis AI adalah kesuksesan dalam pencarian dan pencocokan. Pencarian dan pelacakan dilakukan dengan membangkitkan keadaan baru dari keadaan awal (*start state*) hingga didapatkan keadaan tujuan (*goal state*). Ada kalanya keadaan tujuan tidak akan pernah dicapai. Hal ini tergantung dari keadaan awal yang diberikan dan aturan-aturan yang harus dipatuhi untuk mencapai keadaan tujuan (Kusumadewi, 2003).

Pencarian heuristik biasanya diistilahkan dengan *informed search* atau pencarian yang berdasarkan panduan. Poyla mendefinisikan heuristik sebagai studi metoda dan kaidah penemuan (Desiani & Arhami, 2005). Dalam pencarian ruang keadaan, heuristik dinyatakan sebagai aturan untuk melakukan pemilihan cabang-cabang dalam ruang keadaan yang paling tepat untuk mencapai solusi permasalahan yang dapat diterima. Solusi persoalan AI yang menggunakan metoda heuristik didasarkan pada dua kondisi, yaitu:

- Permasalahan yang mungkin tidak mempunyai solusi yang pasti disebabkan oleh ambiguitas (keraguan/ketidakpastian) mendasar dalam pernyataan permasalahan atau data yang tersedia. Diagnosa

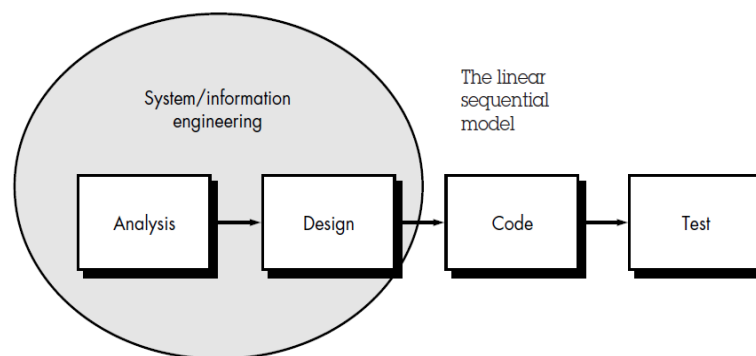
kedokteran merupakan salah satu contohnya, di mana sejumlah gejala mungkin dapat ditimbulkan oleh berbagai macam penyebab yang mungkin. Dokter menggunakan heuristik untuk memilih atau menentukan diagnosa yang paling dapat diharapkan dan merumuskan rencana penanganannya.

- b. Permasalahan yang boleh jadi memiliki solusi pasti, tetapi biaya komputasi untuk mendapatkan solusi tersebut mungkin sangat tinggi. Dalam banyak masalah seperti catur, ruang keadaan bertambah luar biasa seiring dengan pertambahan jumlah keadaan yang dimungkinkan. Dalam kasus ini, teknik pencarian seperti *Breadth First Search* (BFS) dan *Depth First Search* (DFS) mungkin gagal memperoleh solusi sehingga metoda heuristik akan menangani kerumitan permasalahan ini dengan panduan pencarian pada sepanjang lintasan yang memberi harapan melalui state. Dengan mengeliminasi state yang tidak memberikan harapan dan turunannya dari ruang tersebut maka metoda heuristik dapat menaklukkan ledakan kombinatorial dan menentukan solusi yang dapat diterima.

Sayangnya, seperti semua kaidah penemuan lainnya, metoda heuristik juga dapat salah. Metoda heuristik hanyalah panduan informasi untuk menebak langkah berikutnya yang harus diambil dalam menyelesaikan suatu permasalahan, dan sering dilakukan berdasarkan eksperimen/percobaan atau secara intuisi. Oleh karena menggunakan informasi yang terbatas, metoda heuristik jarang dapat memprediksi tingkah laku yang pasti dari ruang keadaan saat dilakukan pencarian. Metoda heuristik dapat membimbing solusi suboptimal atau gagal menemukan solusi apapun. *Game playing* dan pemecahan teorema (*theorem solving*) adalah dua aplikasi yang paling tua dari AI, yang menggunakan metoda heuristik untuk memangkas ruang dari solusi yang mungkin. Penelitian sebelumnya yang terkait dengan permainan Ludo setidaknya telah dilakukan oleh Rensink, et al. (2007), Chhabra & Tomar (2015), Alhajry, Alvi, & Ahmed (2012), dan Alvi & Ahmed (2011).

1.3 Metodologi Penelitian

Untuk membangun perangkat lunak, dibutuhkan sebuah model pengembangan perangkat lunak. Penelitian ini mengadopsi model sekuensial linier (Pressman, 2001). Dalam model ini (Gambar 2), pengembangan perangkat lunak dilakukan secara sistematis dan linier, yang dimulai dari aktivitas analisis, desain, pengkodean dan pengujian perangkat lunak. Aktivitas analisis dan desain merupakan bagian dari aktivitas rekayasa sistem. Secara ringkas tahapan penelitian ini dideskripsikan pada Tabel.



Gambar 2. Model sekuensial linier

Tabel 1. Tahapan penelitian

<i>Tahap</i>	<i>Kegiatan</i>	<i>Hasil</i>
Analysis	Menentukan aturan permainan Ludo	Aturan permainan Ludo yang digunakan
	Menentukan fungsi heuristik pada NPC	Fungsi heuristik untuk karakter NPC
Design	Merancang algoritma berpikir NPC	Diagram alir karakter NPC
	Merancang antarmuka pemakai	Rancangan antarmuka pemakai
Code	Membangun aplikasi dengan menggunakan bahasa pemrograman	Aplikasi permainan Ludo
Testing	Melakukan pengujian perangkat lunak	Hasil pengujian perangkat lunak
	Melakukan pengujian statistik	Hasil pengujian statistik

2. PEMBAHASAN

2.1 Aturan Permainan Ludo

Aturan permainan Ludo yang diterapkan sebagai berikut.

1. Pada awal permainan, keempat bidak pemain ditempatkan pada area Rumah,
2. Pemain melempar sebuah dadu secara bergiliran,
3. Bila mendapatkan nilai dadu enam, maka pemain dapat mengeluarkan bidaknya dari area Rumah ke titik Mulai. Bila tidak ingin mengeluarkan bidak dari rumah, pemain dapat menggerakkan bidak lainnya yang sudah berada di luar rumah,
4. Selanjutnya, pemain dapat memajukan salah satu bidaknya dari satu sampai enam petak, sesuai dengan nilai dadu yang didapatkan pada giliran bermainnya,
5. Pemain yang memperoleh nilai dadu enam, juga memperoleh bonus untuk melempar dadu kembali,
6. jika bidak pemain mengenai bidak lawan pada satu petak yang sama, maka bidak lawan akan tersingkir dan dikembalikan lagi ke area Rumah.
7. Bidak tidak boleh menempati petak yang sudah ditempati oleh bidak lainnya yang berwarna sama,
8. Ketika bidak telah mencapai area finish, maka bidak dapat bergerak ke atas menuju kotak finish. Di dalam jalur finish, bidak berada pada posisi safe dan tidak dapat disingkirkan lagi oleh bidak lawan. Selanjutnya, pemain harus mendapatkan nilai dadu yang tepat untuk dapat menggerakkan bidak ke kotak finish,
9. Pemenang adalah pemain pertama yang menempatkan keempat bidaknya di kotak finish,
10. Jika pemain tidak dapat menjalankan bidaknya, maka giliran bermain dilewatkan ke pemain berikutnya.

2.2 Analisis dan Desain

Algoritma berpikir NPC dirancang dengan menggunakan fungsi heuristik. Fungsi heuristik ini dibuat sedemikian rupa sehingga masing-masing karakter NPC memiliki prioritas sesuai karakternya. Tabel 2 memperlihatkan karakter NPC dan prioritasnya. Berdasarkan prioritas tersebut, kemudian diformulasikan fungsi heuristik setiap NPC (Tabel 3).

Tabel 2. Karakter NPC dan perilakunya

Karakter	Perilaku
Agresif	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menyingkirkan bidak lawan 2. Mengeluarkan bidak dari rumah 3. Mengejar bidak lawan 4. Memasukkan bidak ke kotak finish
Defensif	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menghindari kejaran bidak lawan 2. Mengeluarkan bidak dari rumah 3. Memasukkan bidak ke kotak finish
Plin-plan	Bergerak berdasarkan pengacakan nilai dadu

Tabel 3. Fungsi heuristik pada NPC

Karakter	Fungsi Heuristik	Keterangan
Agresif	$f(H) = \begin{cases} 0,5 & , B1 = 0 \\ B2 - B1 + d & , 50 \geq B1 + d \geq 1 \\ 57 - B1 + d & , B1 + d \geq 51 \end{cases}$	<ul style="list-style-type: none"> • d: nilai acak dadu, • B1: posisi bidak NPC, • B2: posisi bidak lawan terdekat yang berada di depan B1+d, • A: jumlah bidak lawan yang berada di posisi 1 sampai 6 langkah di belakang B1+d
Defensif	$f(H) = \begin{cases} 0,5 & , B1 = 0 \\ 57 - B1 + d - 10A & , 51 \geq B1 + d \geq 1 \\ 57 - B1 + d & , B1 + d \geq 52 \end{cases}$	
Plin-plan	Tidak menggunakan fungsi heuristik	

Sebagai ilustrasi, NPC mengendalikan bidak berwarna kuning, dan keadaan papan Ludo pada saat ini seperti ditampilkan pada Gambar 1. Bidak 1 berada di posisi 15, bidak 2 berada di posisi 4, bidak 3 berada di posisi 48 dan bidak 4 masih berada di rumah (posisi 0). Saat ini NPC mendapat giliran untuk melemparkan dadu, dan mendapat nilai dadu 6 ($d = 6$). NPC akan menghitung nilai heuristik untuk setiap bidaknya, kemudian memilih bidak dengan nilai heuristik terkecil untuk digerakan.

Andaikan NPC berkarakter Agresif, maka hasil perhitungan nilai heuristik setiap bidaknya seperti pada Tabel 4. Misalkan bidak 1 berada di posisi 15, maka nilai $B1 = 15$. Nilai $B1 + d = 21$. Karena $50 \geq 21 \geq 1$, maka fungsi heuristik

yang digunakan adalah $B2 - B1 + d$. Dari Gambar 1, terlihat bahwa posisi $B2 = 22$ (bidak lawan berwarna biru). Sehingga $f(H) = 22 - 21 = 1$. Perhitungan yang sama juga dilakukan untuk ketiga bidak lainnya. Setelah mendapatkan nilai heuristik untuk seluruh bidak, kemudian dipilih bidak dengan nilai heuristik terkecil (bidak 2) untuk digerakan sejauh 6 (nilai acak dadu) langkah.

Tabel 4. Perhitungan nilai heuristik NPC Agresif

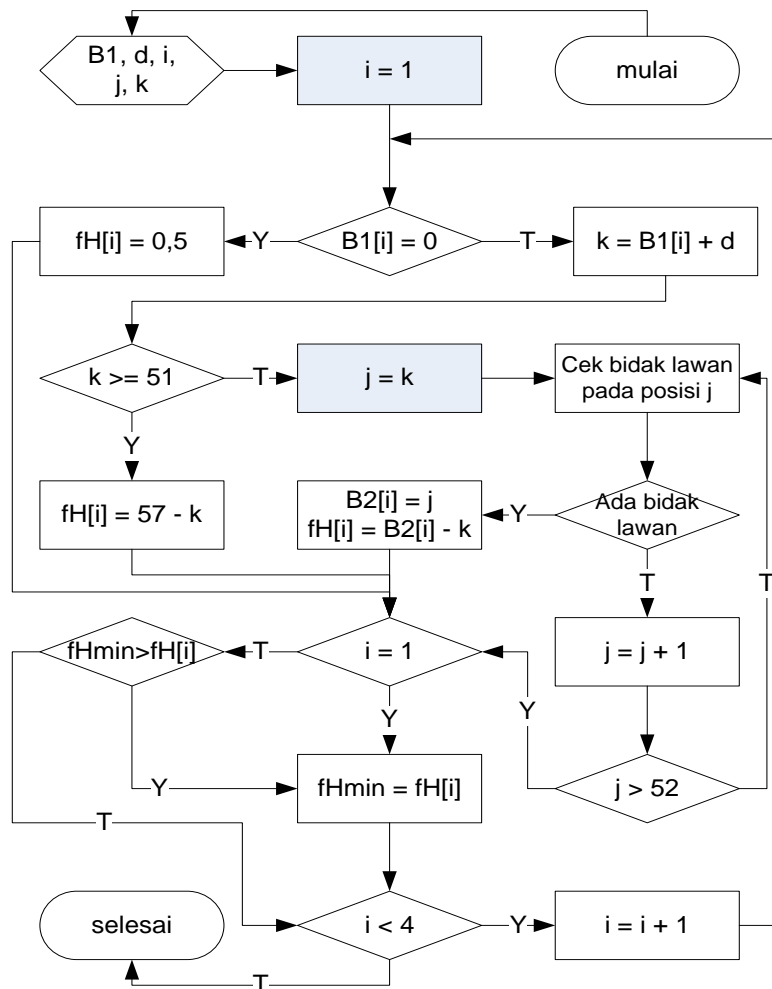
<i>Bidak</i>	<i>d</i>	<i>B1</i>	<i>B1 + d</i>	<i>B2</i>	<i>f(H)</i>
Bidak 1	6	15	21	22	1
Bidak 2	6	4	10	10	0
Bidak 3	6	48	54	57	3
Bidak 4	6	0	-	-	0,5

Andaikan NPC berkarakter Defensif, maka hasil perhitungan nilai heuristiknya seperti pada Tabel 5. Misalkan $B1 = 15$, dan $B1 + d = 21$. Karena $51 \geq 21 \geq 1$, maka fungsi heuristik nya adalah $57 - B + d - 10A$. Dari Gambar 3 terlihat bahwa $A = 1$ (dalam 6 langkah ke belakang dari $B + d$, hanya terdapat satu bidak lawan, yakni bidak biru pada posisi 18). Sehingga $f(H) = 57 - 21 - 10(1) = 26$. Berdasarkan nilai heuristik dari seluruh bidak, NPC akan memilih bidak 4 (dengan nilai terkecil) untuk dikeluarkan dari area rumah.

Tabel 5. Perhitungan nilai heuristik NPC Defensif

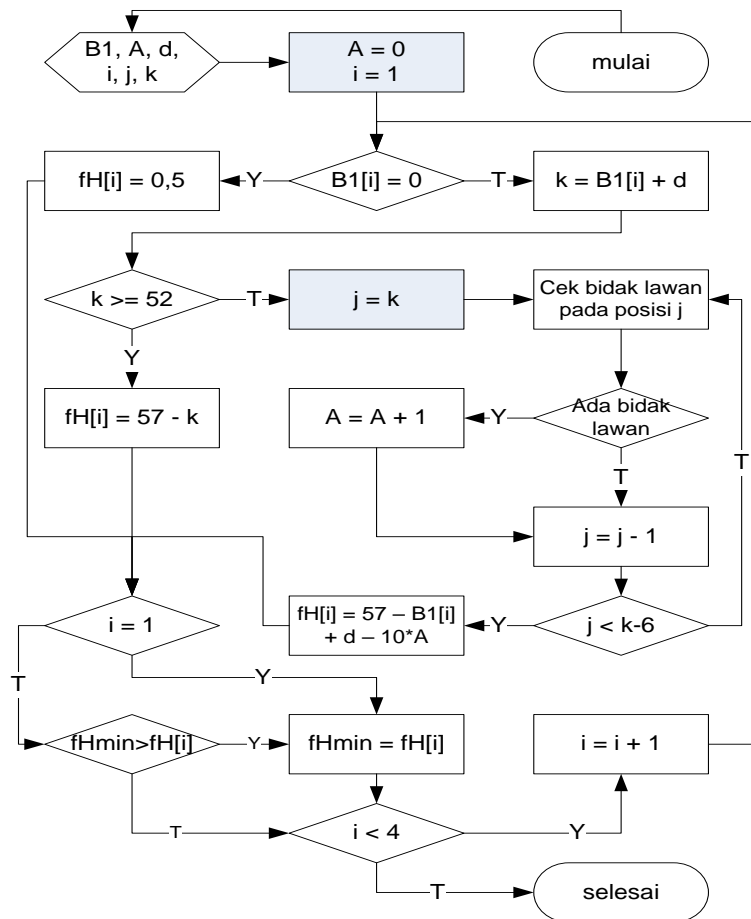
<i>Bidak</i>	<i>d</i>	<i>B1</i>	<i>B1 + d</i>	<i>A</i>	<i>f(H)</i>
Bidak 1	6	15	21	1	26
Bidak 2	6	4	10	2	27
Bidak 3	6	48	54	-	3
Bidak 4	6	0	-	-	0,5

Berdasarkan ilustrasi tersebut, kemudian dirancang algoritma untuk menentukan nilai heuristik terkecil, sebagai penentu bidak yang akan digerakan. Gambar 3 memperlihatkan diagram alir perhitungan nilai heuristik untuk NPC berkarakter Agresif, dan Gambar 4 adalah diagram alir perhitungan nilai heuristik untuk NPC berkarakter Defensif.

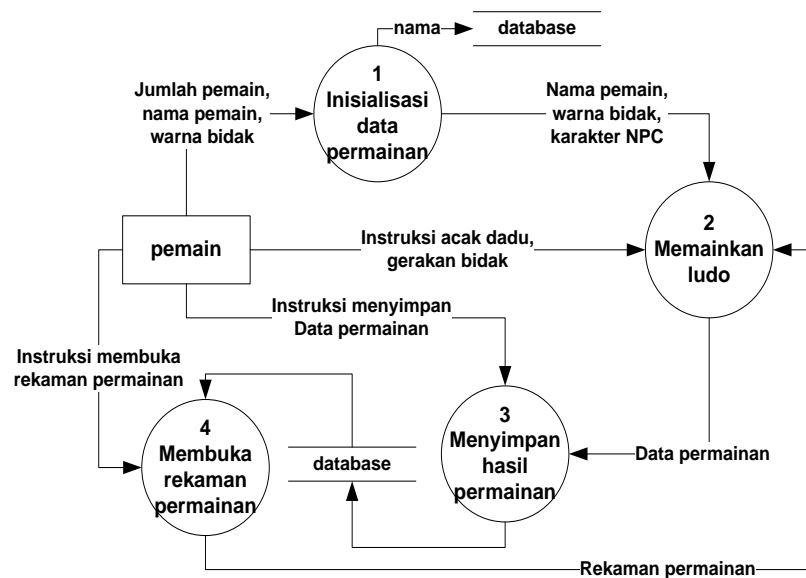


Gambar 3. Diagram alir NPC agresif

Pemodelan perangkat lunak dibuat dengan menggunakan diagram alir data. Penggunaan diagram ini, untuk menunjukkan alur proses perangkat lunak. Gambar 5 memperlihatkan diagram alir data dari perangkat lunak yang akan dibangun. Pemodelan aplikasi ini dibuat sedemikian rupa, sehingga pengguna dapat menyimpan kondisi permainan yang belum selesai dimainkan, dan dapat membuka/melanjutkan kembali di waktu yang berbeda. Untuk itu, data permainan, berupa posisi bidak, pemain, dan karakter NPC akan disimpan segera setelah pengguna memberikan perintah simpan.



Gambar 4. Diagram alir NPC defensif



Gambar 5. Diagram alir data aplikasi ludo

2.3 Kode dan Pengujian

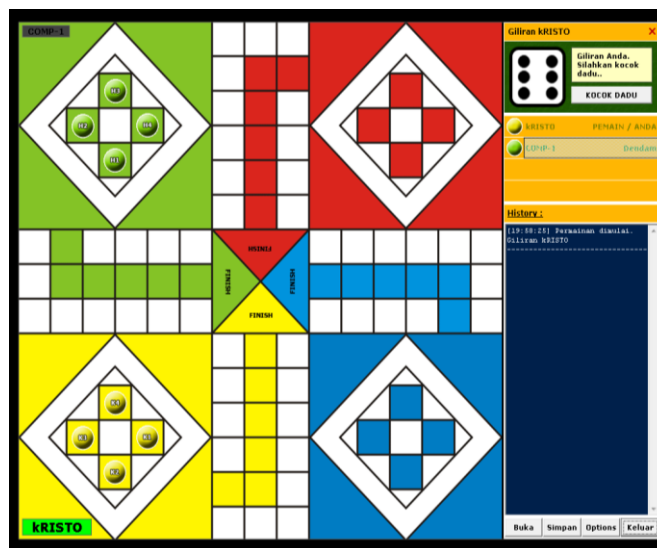
Desain perangkat lunak melibatkan desain antarmuka pengguna dan desain prosedural perangkat lunak. Desain antarmuka pengguna dibuat semenarik dan seinteraktif mungkin, sehingga pengguna tidak segera bosan saat menggunakan aplikasi tersebut. Gambar 6 s.d. Gambar 8, memperlihatkan beberapa contoh desain antarmuka pengguna yang telah dibuat. Perangkat lunak permainan Ludo ini dibangun dengan menggunakan bahasa pemrograman Visual Basic, dan dijalankan pada komputer bersistem operasi Windows.



Gambar 6. Menu awal aplikasi ludo



Gambar 7. Menu pemilihan pemain pada aplikasi ludo



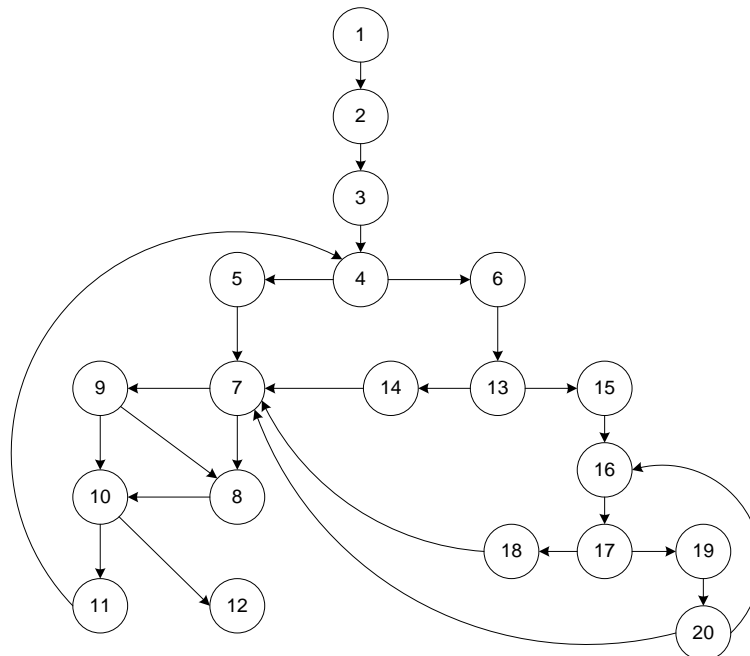
Gambar 8. Antarmuka papan permainan ludo

Pengujian perangkat lunak dilakukan dengan metode *white-box testing* dan *black-box testing*. *Black-box testing* merupakan pengujian yang berfokus pada spesifikasi fungsional dari perangkat lunak, tester dapat mendefinisikan kumpulan kondisi input dan melakukan pengetesan pada spesifikasi fungsional program (Pressman, 2001). Pengujian dengan metode *black-box testing* dilakukan dengan cara memberikan sejumlah input pada aplikasi. Input tersebut kemudian diproses sesuai dengan kebutuhan fungsionalnya untuk melihat apakah aplikasi dapat menghasilkan output yang sesuai dengan yang diinginkan dan sesuai pula dengan fungsi dasar dari aplikasi tersebut. Apabila dari input yang diberikan proses dapat menghasilkan output yang sesuai dengan kebutuhan fungsionalnya, maka aplikasi yang dibuat sudah benar, tetapi apabila output yang dihasilkan tidak sesuai dengan kebutuhan fungsionalnya, maka masih terdapat kesalahan pada aplikasi tersebut. Tabel 6 memperlihatkan contoh hasil pengujian *black-box* yang dilakukan pada antarmuka pemakai (Gambar 6).

Tabel 6. Contoh hasil *black-box testing*

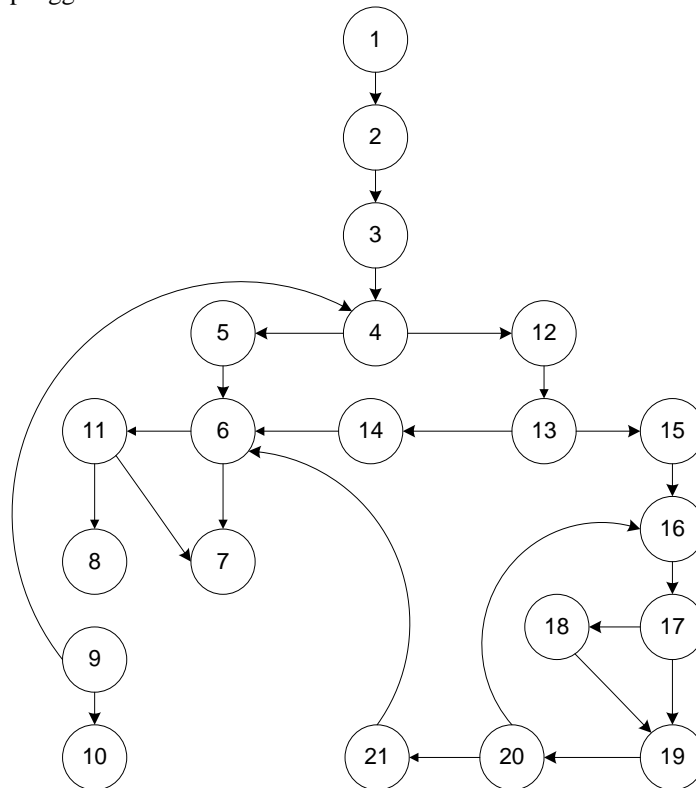
No	Input yang diberikan	Output yang diharapkan	Hasil pengujian
1	Tekan tombol permainan baru	Tampil form Input Nama	√
2	Tekan tombol Buka	Tampil form Buka	√
3	Tekan tombol pengaturan	Tampil form Pengaturan	√
4	Tekan tombol bantuan	Tampil form Help	√
5	Tekan tombol mengenai	Tampil form About	√
6	Tekan tombol keluar	Keluar dari aplikasi	√

White-box testing merupakan pengujian yang didasarkan pada pengecekan terhadap detail perancangan menggunakan struktur kontrol desain prosedural untuk membagi pengujian dalam beberapa kasus pengujian (Pressman, 2001). Pengujian *white-box* dalam penelitian menggunakan teknik pengujian basis jalur dengan cara mengukur kompleksitas siklomatis pada struktur logika NPC yang dibangun. *Flow graph* untuk NPC Agresif seperti digambarkan pada Gambar 9.. Nilai kompleksitas siklomatis ($V(G) = E - N + 2$, atau $V(G) = P + 1$ atau $V(G) =$ jumlah region (Pressman, 2001), dengan E adalah jumlah edge pada diagram alir, N adalah jumlah simpul, P adalah jumlah jumlah node yang memiliki cabang. Hasil pengujian *white-box* untuk NPC Agresif menunjukkan bahwa nilai kompleksitas siklomatis nya adalah 8 (diperoleh dari $V(G) = 26 - 20 + 2 = 8$). Sedangkan untuk NPC Defensif, berdasarkan *flow graph* pada Gambar 10 diperoleh nilai kompleksitas siklomatisnya adalah 5 ($24 - 21 + 2 = 5$).

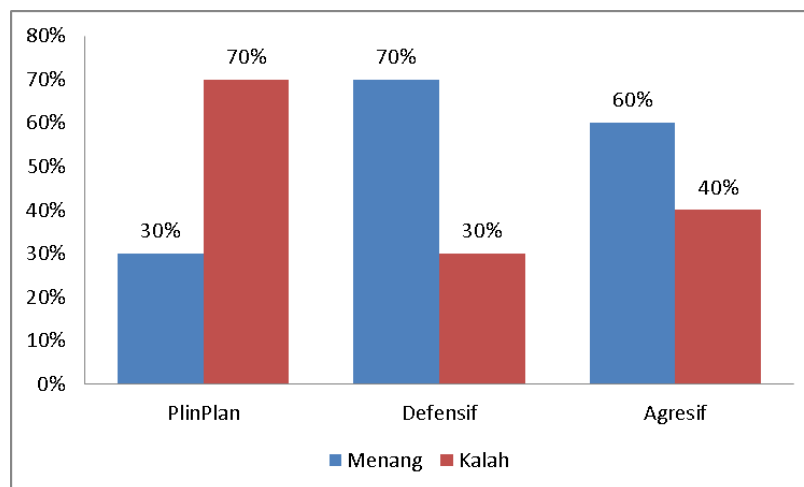


Gambar 9. Flow graph NPC agresif

Untuk melihat efektivitas karakter NPC, dilakukan pengujian secara statistik. Aplikasi permainan Ludo dimainkan dalam mode 2 player (pengguna vs NPC). Hasil pengujian dengan 30 data sampel (Gambar 9) menunjukkan bahwa karakter yang telah dirancang sebagai NPC mampu bekerja dengan baik. Terlihat bahwa, pada karakter Plin-plan tingkat kemenangan NPC (warna biru) lebih rendah dari pada pengguna (warna merah), sedangkan pada karakter Defensif dan karakter Agresif yang menggunakan fungsi heuristik, tingkat kemenangan NPC lebih tinggi dibandingkan dengan pengguna.



Gambar 10. Flow graph NPC defensif



Gambar 11. Hasil pengujian statistik

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

- a. Aplikasi Ludo yang dibuat adalah aplikasi *stand-alone* atau *single-player*. Sebagai lawan dari user, aplikasi mempunyai 3 (tiga) karakter yang mempunyai cara pengambilan keputusan yang berbeda-beda, yaitu: Agresif, Defensif, dan Plin-Plan.
- b. Model sekuensial linier dapat digunakan sebagai model pengembangan aplikasi permainan Ludo.
- c. Hasil pengujian menunjukkan bahwa fungsi heuristik dapat digunakan untuk merancang NPC pada permainan Ludo.

PUSTAKA

- Alhajry, M., Alvi, F., & Ahmed, M. (2012). TD (λ) and Q-learning based Ludo players. *IEEE Conferences on Computational Intelligence and Games* (pp. 83-90). Granada, Spain: IEEE.
- Alvi, F., & Ahmed, M. (2011). Complexity analysis and playing strategies for Ludo and its variant race games. *IEEE Conference on Computational Intelligence and Games* (pp. 134-141). Seoul, South Korea: IEEE.
- Chhabra, V., & Tomar, K. (2015). Artificial Intelligence: Game Techniques Ludo-A Case Study. *Advances in Computer Science and Information Technology*, 2(6), 549-553.
- Desiani, A., & Arhami, M. (2005). *Konsep Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta: Andi.
- Hartanto, R., Purwadi, J., & Santosa, G. (2010). Implementasi Algoritma Stochastic Hill Climbing Pada Permainan Mastermind. *Jurnal Informatika*, 6(1), 56-63.
- Kusumadewi, S. (2003). *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Pressman, R. (2001). *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. McGraw-Hill.
- Rensink, A., Dotor, A., Ermel, C., Jurack, S., Kniemeyer, O., de Lara, J., et al. (2007). Ludo: A Case Study For Graph Transformation Tools. *Proceeding of International Symposium on Applications Graph Transformations with Industrial Relevance* (pp. 493-513). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

IMPLEMENTASI MODEL GAMIFIKASI DENGAN *MDA FRAMEWORK* PADA APLIKASI PENGELOLAAN MATA KULIAH

Michael George Sumampouw

Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Katolik De La Salle Manado
Kairagi I Kombos, Manado

E-mail: msumampouw@unikadelasalle.ac.id

ABSTRAK

Inovasi dalam pembelajaran setiap mata kuliah semakin berkembang dengan munculnya berbagai model pembelajaran, salah satunya yaitu model gamifikasi. Gamifikasi merupakan penerapan elemen-elemen yang terdapat pada game ke dalam konteks bukan game. Dalam konteks pembelajaran gamifikasi berfungsi sebagai motivasi dan juga untuk memberikan ketertarikan pada mahasiswa dalam mengikuti kegiatan belajar mengajar pada suatu mata kuliah. Implementasi model gamifikasi dengan *MDA Framework* yang terdiri dari *Mechanics*, *Dynamics* dan *Aesthetics* untuk membuat desain game ke dalam aplikasi yang akan dibangun. Gamifikasi untuk pengelolaan mata kuliah menggunakan game mechanic seperti *storytelling*, *point*, *level*, *badge*, *quest*, dan *leaderboard*. Aplikasi yang dibuat juga akan melibatkan mahasiswa untuk dapat berinteraksi dengan game mechanic, sehingga dapat menghasilkan motivasi, ketertarikan dan perasaan senang saat mengikuti kegiatan belajar mengajar.

Kata Kunci: Model Pembelajaran, Mata Kuliah, Gamifikasi, *MDA Framework*.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelolaan proses belajar mengajar pada suatu mata kuliah dengan tujuan untuk menentukan alur dalam mencapai manfaat pembelajaran dari mata kuliah. Hal lain yang merupakan apresiasi dari setiap proses yang dilewati berdasarkan alur yang dibuat adalah nilai yang akan didapat oleh mahasiswa. Untuk membuat pedoman alur maka dibutuhkan model pembelajaran yang berfungsi merancang pembelajaran dalam suatu mata kuliah sebagai pedoman untuk tenaga pendidik dan mahasiswa (Trianto, 2009). Dari hasil penelitian Suyitno menyatakan pemilihan model pembelajaran akan mempengaruhi tercapainya manfaat pembelajaran suatu mata kuliah dan hasil belajar yang diperoleh mahasiswa (Suyitno, 2016).

Pemanfaatan teknologi terutama teknologi informasi dan komunikasi telah diterapkan hampir disetiap aspek kehidupan dan lingkungan sekitar kita. Hal ini mendorong dengan memanfaatkan teknologi tersebut dalam kegiatan belajar mengajar dengan tujuan agar motivasi dan ketertarikan mahasiswa dalam kegiatan ini meningkat. Hal ini disebabkan karena unsur kesenangan, tantangan dan persaingan yang ditawarkan oleh game. Untuk mewujudkan hal itu maka dengan memanfaatkan model pembelajaran yaitu model gamifikasi yang akan diterapkan di aplikasi yang dibuat.

Gamifikasi merupakan penerapan elemen-elemen yang terdapat dalam *game* ke dalam konteks yang bukan *game* untuk mengikat pengguna agar terlibat dan mencapai suatu tujuan (Zichermann G, 2011). Model pembelajaran Gamifikasi dapat diterapkan ke semua mata kuliah dengan melihat unsur setiap kegiatan yang menghasilkan nilai pada mata kuliah, misalnya kehadiran, kuis, tugas, ujian tengah semester dan ujian akhir semester. Dengan mengubah kegiatan tersebut menjadi misi yang akan diselesaikan oleh mahasiswa untuk mendapatkan poin untuk bersaing dalam papan penilaian. Hal ini semata-mata adalah untuk mencapai tujuan yaitu pemahaman mahasiswa terhadap mata kuliah berdasarkan nilai akhir yang didapatkan oleh mahasiswa, namun dikemas secara berbeda dalam bentuk *game*.

Dalam membuat sebuah model gamifikasi untuk diterapkan dalam mengelola kegiatan pembelajaran pada mata kuliah maka dibutuhkan sebuah *framework* yang disebut dengan *MDA Framework*. *MDA Framework* terdiri atas tiga komponen, yaitu *Mechanic*, *Dynamic*, dan *Aesthetic* (Hunicke R, dkk, 2004). Berdasarkan komponen-komponen tersebut maka akan dibangun aplikasi pengelolaan mata kuliah yang merupakan implementasi dari model pembelajaran yaitu model Gamifikasi.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana mengimplementasikan model gamifikasi dengan *MDA Framework* pada aplikasi pengelolaan mata kuliah untuk meningkatkan motivasi dan ketertarikan mahasiswa terhadap mata kuliah?

1.3 Tujuan

Membangun aplikasi pengelolaan mata kuliah berdasarkan model gamifikasi dengan *MDA Framework* untuk meningkatkan motivasi dan ketertarikan mahasiswa terhadap mata kuliah.

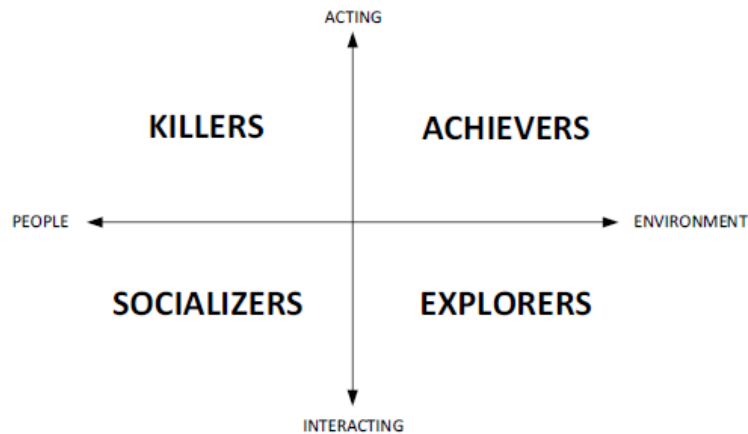
1.4 Tinjauan Pustaka

A. Gamifikasi

Gamifikasi berdasarakan Zichermann (2011) dan Deterding (2011) merupakan proses cara berpikir *game* dan *game mechanic* terhadap konteks bukan *game* dengan melibatkan pengguna mencapai suatu tujuan dan menyelesaikan masalah. Cara berpikir *game* (*game thinking*) merupakan cara berpikir dimana orang berpikir sedang bermain *game* dengan rancangan kegiatan menyerupai *game*, sehingga menimbulkan ketertarikan terhadap kegiatan tersebut. Sedangkan *game mechanic* merupakan elemen-elemen penyusun dalam rancangan *game play* yang akan dibangun.

Richard Bartle menyatakan secara umum terdapat empat tipe pemain dalam *game*, yaitu (Romdhoni F.H., 2014):

1. *Archivers*: Pemain yang selalu menginginkan posisi teratas dalam tabel poin.
2. *Explorers*: Pemain yang selalu ingin mencari sesuatu yang baru.
3. *Socializers*: Pemain yang suka dan selalu ingin berinteraksi dengan pemain lainnya.
4. *Killer*: Pemain yang ingin mengeliminasi pemain lain.



Gambar 1. Diagram tipe pemain berdasarkan Richard Bartle

Pemain tidak harus memiliki 100% untuk tipe tertentu berdasarkan tipe diatas, melainkan dapat memiliki beberapa tipe yang merupakan gabungan berdasarkan tipe pemain yang ada. Namun tentunya pemain pasti memiliki satu tipe yang merupakan tipe paling dominan dan memiliki nilai persentase paling besar.

B. MDA Framework

MDA Framework merupakan *framework* yang digunakan untuk kepentingan perancangan sebuah *game*. *MDA* merupakan singkatan dari *Mechanics*, *Dynamic*, dan *Aesthetics*. Hubungan ketiga kata tersebut adalah *Mechanics* terdiri dari lingkungan komponen-komponen sistem yang *Dynamics* sehingga menentukan komponen pengalaman *Aesthetic*.

Mechanics adalah komponen yang menggerakkan pemain untuk melakukan suatu aksi dengan adanya interaksi pemain dengan sistem. *Dynamics* merupakan interaksi pemain dengan *mechanics* dan menentukan respon yang harus diberikan oleh *mechanics*. *Aesthetic* adalah emosional yang diterima oleh pengguna terhadap *game* yang sedang dimainkan (Hunicke R, dkk, 2004).

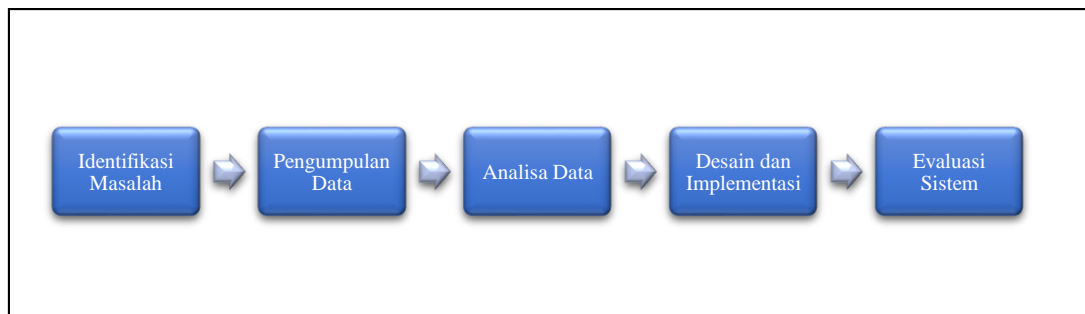
C. Game Mechanics

Game Mechanics yang dirancang dengan baik akan memberikan respon yang baik juga dari pengguna. Karena perancangan komponen yang digunakan pada permainan berdasarkan *desainer* untuk mengatur komponen-komponen tersebut. Terdapat tujuh komponen *game mechanics* (Zichermann G, 2011):

1. *Points*
Points merupakan komponen yang sangat penting karena setiap perilaku pemain akan dinilai dan diberikan *point* berdasarkan capaian atau tindakan yang dilakukan. Dengan adanya elemen ini kita dapat menghasilkan perbedaan penilaian antara pemain satu dengan pemain yang lain.
2. *Levels*
Levels menggambarkan tingkatan seorang pemain dan keuntungan yang didapatkan jika *level* semakin tinggi. Selain itu *level* juga membahas mengenai tingkat kesulitan yang akan semakin bertambah seiring bertambahnya *level*.
3. *Leaderboards*
Leaderboards merupakan sarana untuk melihat perbandingan antar pemain. Perihal yang dibandingkan adalah *points* yang telah dikumpulkan oleh masing-masing pemain yang terlibat dalam *game* tersebut. Biasanya *leaderboard* hanya akan menampilkan lima sampai sepuluh pemain yang memiliki *points* tertinggi.
4. *Badge*
Badge merupakan status/penghargaan yang diberikan kepada pemain ketika menyelesaikan suatu *quest* atau kumpulan *quest* yang menjadi syarat untuk mendapatkan *badge* tersebut.
5. *Quest*
Quest berfungsi untuk memberikan tantangan, persyaratan, *point* yang didapat dan juga petunjuk dalam menyelesaikan tantangan tersebut, sehingga pemain dapat melanjutkan ke *level* yang lebih tinggi.
6. *Onboarding*
Onboarding merupakan komponen yang akan membantu pemain pemula dengan memberikan pilihan yang lebih sedikit pada awal permainan dan akan meningkat seiring dengan bertambahnya *level* pemain tersebut.
7. *Engagements Loop*
Engagements Loop merupakan pengulangan ketertarikan sehingga mengakibatkan pemain akan tertarik untuk memainkan *game* tersebut

1.5 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari Identifikasi Masalah, Pengumpulan Data, Analisa Data, Desain dan Implementasi. Dan Evaluasi Sistem.



Gambar 2. Tahapan penelitian

1.5.1 Identifikasi Masalah

Masalah telah diidentifikasi pada bagian pendahuluan yang telah dipaparkan dengan jelas diatas.

1.5.2 Pengumpulan Data

Agar supaya dapat memperoleh data yang akurat maka penulis melakukan pengumpulan data dengan tiga cara, yaitu wawancara, observasi dan studi literatur.

- a. Wawancara : Data yang didapat melalui wawancara pada mahasiswa di Universitas Z. Inti pertanyaan wawancara mengenai seputar Pendidikan yang dilaksanakan di kelas, hasil yang mereka dapatkan, dan model pembelajaran yang digunakan.
- b. Observasi : Pengamatan yang dilakukan secara langsung di kelas pada Universitas Z dengan melihat proses, hasil dan model pembelajaran.
- c. Studi literatur : Mencari teori pendukung yang berkaitan dengan penelitian berasal dari buku dan artikel.

2. PEMBAHASAN

Bagian ini akan membahas mengenai Analisa Data, Desain dan Implementasi, serta Evaluasi Sistem.

2.1 Analisa Data

Objek penelitian merupakan mahasiswa disebuah perguruan tinggi swasta yaitu Universitas Z Fakultas Teknik Program Studi Teknik Informatika. Manajemen Pendidikan yang berlangsung berdasarkan Rancangan Pembelajaran Semester (RPS) mata kuliah yang sudah disusun oleh Dosen. Dan untuk metode pembelajaran yang diterapkan diserahkan sepenuhnya kepada Dosen.

Berdasarkan wawancara disimpulkan mayoritas mahasiswa mengikuti perkuliahan dengan menggunakan metode ceramah dan diskusi di kelas. Mahasiswa mengerjakan dan mempelajari materi hanya jika ada tugas yang diberikan. Mahasiswa akan lebih tertarik terhadap suatu mata kuliah jika dibuat seperti bermain *game*.

2.2 Desain dan Implementasi

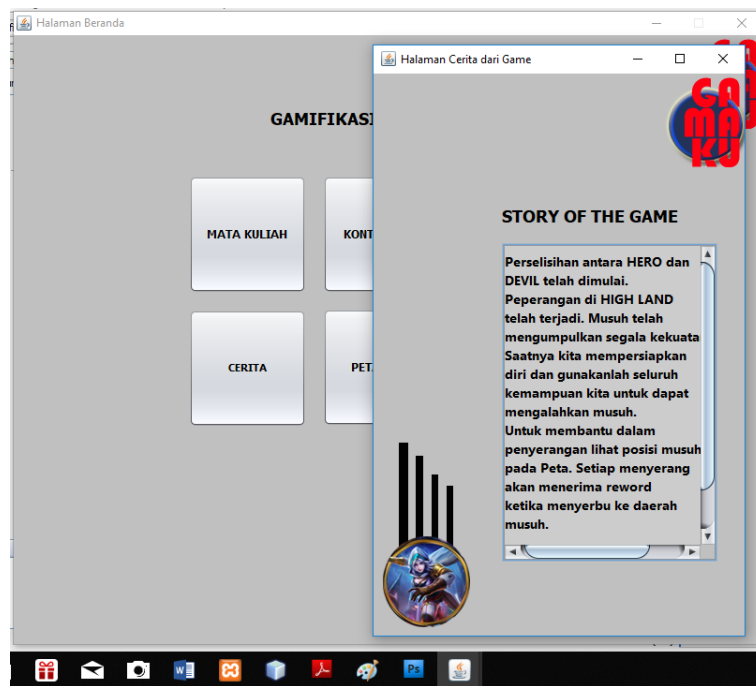
Pada tahap ini akan dibuat rancangan Model Gamifikasi dengan *MDA Framework* pada Aplikasi Pengelolaan Mata Kuliah.

2.2.1 Game Mechanics

Game Mechanics yang digunakan pada dalam model gamifikasi ini adalah *Storytelling*, *Points*, *Levels*, *Badge*, *Quest*, dan *Leaderboard*.

a. Storrtelling

Model gamifikasi yang dirancang menggunakan cerita tentang *game ML* yang sedang populer saat ini. *Mechanic* ini akan menjadi alur yang akan menggiring mahasiswa dalam proses pembelajaran. Gambar 3 merupakan tampilan yang akan ditampilkan pada saat mengakses menu cerita pada aplikasi.



Gambar 3. Story of the Game

b. Points

Points yang didapatkan oleh pemain berbeda-beda bergantung *quest* yang diselesaikan. *Points* ini juga memberikan peringkat dari pemain dalam aplikasi ini. Rincian pemberian *point* kepada pemain dapat dilihat pada table 1.

Tabel 1. Rincian Pemberian *Point*

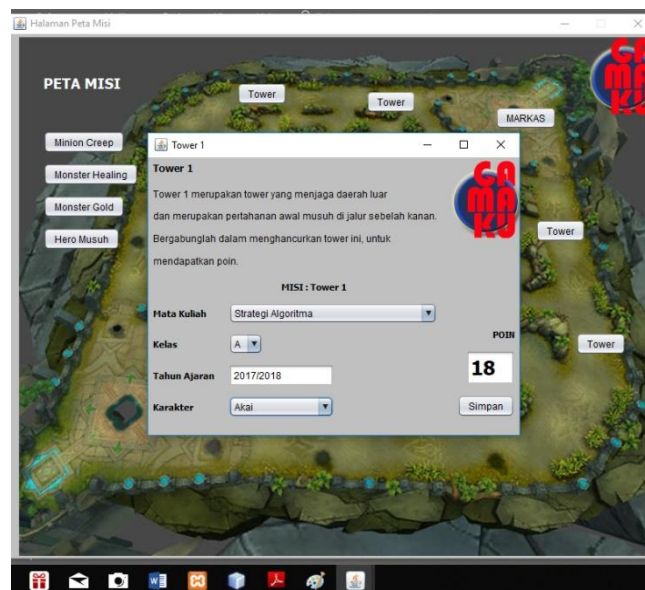
Kegiatan	Batas Nilai	Pelaksanaan (jumlah)	Maksimal <i>Point</i>
Kehadiran	0-2	16	30
Kuiz	0-19	7	133
Tugas	0-49,3	3	148
MID	0-185	1	185
UAS	0-222	1	222
Keaktifan	0-2,5	4	10
Bonus Kehadiran	0-3	4	12
Misi Khusus	0-25	2	50

Berdasarkan rincian pemberian *point* maka setelah menyelesaikan semua *quest* yang terdapat dalam aplikasi, maka setiap total *points* dari pemain akan dikonversi ke dalam *Grade* nilai. Dengan aturan pemberian *Grade* nilai sebagai berikut:

Tabel 2. Konversi *Point* ke *Grade* Nilai

<i>Grade</i> Nilai	Batas <i>Points</i>
A	≥ 592
B	481 – 591,9
C	407 – 480,9
D	333 – 406,9
E	0 – 332,9

Perhitungan berdasarkan aturan Universitas Z, dimana terdapat empat penilaian utama pada setiap mata kuliah yaitu Aktp, Tugas, MID dan UAS. Meskipun penilaian tersebut telah ditentukan oleh universitas, namun Dosen diberikan kebebasan untuk memberikan persentase penilaian. Untuk persentase pada kasus ini adalah Aktp sebesar 25%, Tugas sebesar 20%, MID sebesar 25% dan UAS sebesar 30%. Sedangkan untuk penentuan *grade* nilai mengikuti standar universitas yaitu *Grade* A 80 - 100, *Grade* B 66 - 79,9, *Grade* C 55 - 65,9, *Grade* D 45 - 54,9 dan *Grade* E 0 – 44,9. Dibawah ini gambar pemberian *points* ketika pemain telah selesai menyelesaikan *quest* yang diberikan.



Gambar 4. Pemberian *Points* saat menyelesaikan *Quest*

c. *Levels*

Levels merupakan tingkat kesulitan yang akan dihadapi pemain seiring berjalan waktu dan ketika suatu *quest* diselesaikan. Pada tabel 3 dapat dilihat *quest* yang harus dilewati oleh pemain berdasarkan *level* yang sudah ditentukan.

Tabel 3. *Levels* pada aplikasi

Level	Quest	Deskripsi Kegiatan
Level 1	Tower 1 sampai Tower 6	Masuk <i>level</i> 1 karena pada penyelesaian <i>quest</i> kegiatan yang dilakukan adalah menyelesaikan kuis. Kuis akan diberikan pada beberapa pokok bahasan.
	Minion Creep	
	Monster Gold	Masuk <i>Level</i> 1 karena <i>quest</i> yang diberikan adalah pemberian <i>point</i> ketika aktif di kelas saat terjadi diskusi/presentasi.
Level 2	Turtle	Masuk <i>level</i> 2 untuk menyelesaikan <i>quest</i> ini kegiatan yang dilakukan adalah membuat tugas. Tugas akan diberikan dan diselesaikan secara mandiri dan juga ada yang berkelompok.
	Lord	
	Buff	
	Monster Healing	Masuk <i>level</i> 2 karena untuk mengalahkan monster ini harus memiliki persyaratan khusus, dan tugas yang diberikan untuk <i>point</i> tambahan jika membutuhkan perbaikan nilai.
Level 3	Hero Musuh	Masuk <i>level</i> 3 karena <i>quest</i> ini harus diselesaikan dengan mengikuti ujian tengah semester. Ujian dapat dalam bentuk individu atau kelompok.
	MARKAS	Masuk <i>level</i> 3 karena <i>quest</i> ini harus diselesaikan dengan mengikuti ujian akhir semester. Ujian dapat dalam bentuk individu atau kelompok.

d. *Badge*

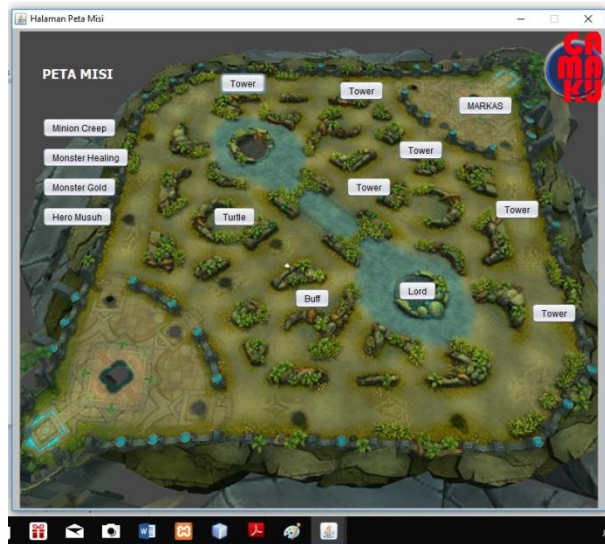
Badge adalah status/penghargaan yang akan diterima oleh pemain. Berikut tiga *badge* yang bisa didapatkan jika pemain menyelesaikan *quest*/kumpulan *quest*.

Tabel 4. *Badge* pada aplikasi

Badge	Keterangan
	Cara mendapatkan <i>badge</i> ini adalah ketika pemain mengikuti semua <i>quest</i> saat menghancurkan tower dan minion creep.
	Cara mendapatkan <i>badge</i> ini adalah ketika pemain mengikuti <i>quest</i> untuk melawan dan mengalahkan monster Turtle, Lord dan Buff.
	Cara mendapatkan <i>badge</i> ini adalah ketika pemain mengikuti <i>quest</i> untuk mengalahkan Hero Musuh dan MARKAS

e. *Quest*

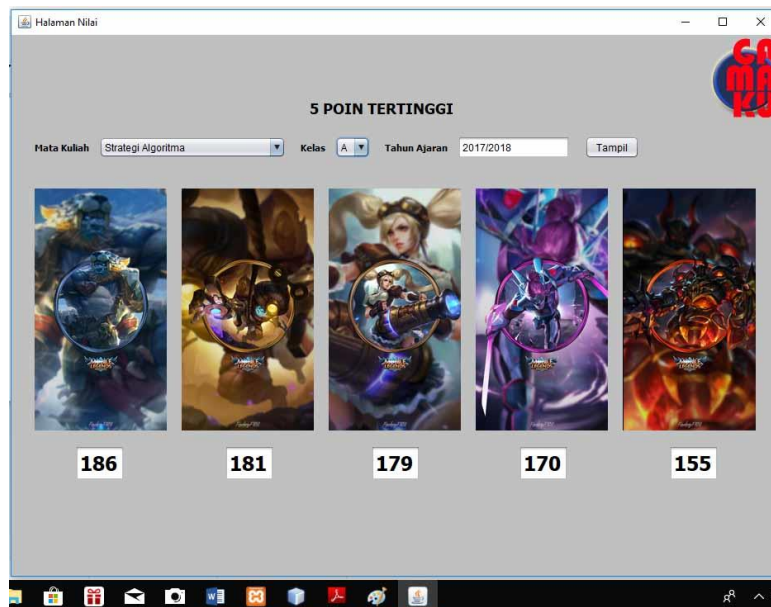
Quest merupakan tantangan yang diberikan kepada pemain. Pada model gamifikasi ini *quest* yang diberikan berupa tugas, kuis, mid, uas, kehadiran, keaktifan di kelas dan perbaikan nilai (bonus). Setiap menyelesaikan *quest* maka pemain akan diberikan *reward* berupa *point* dan *badge*. Berikut adalah gambar yang merupakan peta misi yang harus diselesaikan pemain.



Gambar 5. Peta Misi

f. *Leaderboard*

Leaderboard akan menampilkan lima pemain dengan *point* tertinggi pada suatu mata kuliah. Elemen mekanik ini akan memberikan suasana kompetisi yang akan terbangun kepada semua pemain. Dengan adanya persaingan maka tingkat ketertarikan terhadap penyelesaian *quest* akan bertambah untuk mendapatkan *point*. Berikut gambar yang menampilkan lima pemain dengan *point* tertinggi.



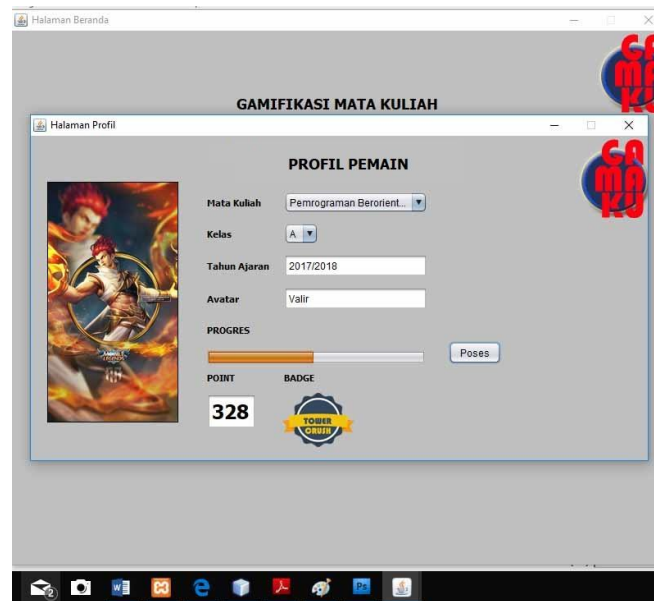
Gambar 6. Papan nilai (5 Poin Tertinggi)

2.2.2 Game Dynamics

Game Dynamics merupakan perilaku dari mekanik saat memberikan tanggapan terhadap input pada mekanik. Pada aplikasi ini unsur *dynamic* yang dirancang adalah *Progression*, *Creativity*, dan *Productivity*.

a. Progression

Pemain yang mengikuti permainan pada aplikasi ini selalu memulai dari kondisi nol dan akhirnya berakhir pada kondisi tertentu sesuai dengan yang dilakukan. Oleh karena itu untuk memantau progress dari pemain maka diperlukan indikator yaitu progress bar, *badge*, *points*. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 7. Profil Pemain

b. Creativity

Pemain secara tidak langsung harus berpikir kreatif dalam menyelesaikan semua *quest* yang diberikan. Strategi dibutuhkan agar supaya mendapatkan *point* yang maksimal dan dapat mencapai/masuk dalam *leaderboard*. Terlebih dari kesemuanya itu adalah mencapai range *point* tertentu untuk mendapatkan grade nilai sesuai dengan usaha yang dilakukan.

c. Productivity

Productivity pemain dilihat dari seberapa paham pemain yang mengikuti *game* ini terhadap materi yang diberikan/diajarkan. Selain itu terlihat dari hasil yang didapat berupa total *point* yang merupakan akumulasi setiap melaksanakan *quest*. Akan terlihat kemampuan pemain dalam menaklukkan *game* ini, terutama menguasai materi dalam mata kuliah.

2.2.3 Aesthetics

Aesthetics pada sebuah aplikasi pengelolaan mata kuliah dengan model gamifikasi adalah kesenangan, kepuasan dan ketertarikan pemain terhadap sistem yang dibangun. Pada *MDA Framework* terdapat beberapa unsur seperti *Narrative*, *Challenges*, *Fellowship*, *Discovery*, *Expression*, *Sensation*, *Fantasy*, dan *Submission*. Dari berbagai unsur tersebut *game mechanics* dan *dynamics* yang menghasilkan berbagai unsur *aesthetics*, yaitu:

- a. *Narrative* : Bagian *Mechanics* yaitu *Storytelling*
- b. *Challenges* : Bagian *Mechanics* yaitu *Levels*, *Quest*, *Leaderboard* dan bagian *Dynamics* yaitu *Creativity*, *Productivity*
- c. *Fellowship* : Bagian *Mechanics* yaitu *Quest*
- d. *Discovery* : Bagian *Mechanics* yaitu *Badge*, *Points* dan bagian *Dynamics* yaitu *Progression*

- e. *Expression* : Bagian *Mechanics* yaitu *Levels, Quest, Leaderboard, Badge, Points*
- f. *Fantasy* : Bagian *Mechanics* yaitu *Storytelling, Quest*

2.3 Evaluasi Sistem

Pada tahap ini akan dilakukan evaluasi terhadap aplikasi yang telah dibuat. Evaluasi mengenai model gamifikasi yang telah diterapkan pada aplikasi pengelolaan mata kuliah dengan *MDA Framework*. Evaluasi dilakukan dengan melakukan simulasi terhadap fungsional *mechanics, dynamics* dan *aesthetics* pada aplikasi. Berikut tabel *test plan* pada sistem.

Tabel 5. Test plan fungsional elemen *mechanics* pada sistem

Kegiatan Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual
Melihat <i>Storytelling</i>	Menampilkan halaman <i>storytelling</i> setelah pemain mengakses menu Cerita	Menampilkan halaman <i>storytelling</i>
Melihat <i>Quest</i>	Menampilkan halaman Peta Misi yang berisi <i>quest</i> saat pemain mengakses menu Peta Misi	Menampilkan halaman Peta Misi
Memilih menyelesaikan <i>Quest</i>	Menampilkan perintah untuk menyelesaikan suatu misi berdasarkan <i>quest</i> yang dipilih. Pemilihan <i>quest</i> berdasarkan <i>level</i> dan urutan yang ditentukan.	Menampiiikan halaman detail <i>quest</i> berdasarkan pilihan pemain
Memberikan <i>Point</i>	Menyimpan <i>point</i> yang diberikan pada dalam <i>quest</i> yang dipilih	Menyimpan <i>point</i>
Mendapatkan <i>Badge</i>	Menerima <i>badge</i> pada halaman profil pemain ketika menyelesaikan syarat dari <i>badge</i> tersebut	Menerima <i>badge</i> dengan syarat yang berlaku
Melihat <i>Point</i> dan <i>Badge</i>	Menampilkan <i>point</i> dan <i>badge</i> saat pemain mengakses menu Profil Pemain	Menampilkan <i>point</i> dan <i>badge</i>
Melihat <i>Leaderboard</i>	Menampilkan <i>leaderboard</i> saat pemain memilih menu Papan Nilai	Menampilkan <i>leaderboard</i>

Fungsional elemen *mechanics* yang berjalan sesuai dengan hasil yang diharapkan. Selanjutnya akan dilakukan evaluasi mengenai perilaku dari mekanik dalam menanggapi inputan yang diberikan. Pada aplikasi akan dilihat fungsional dari elemen *dynamics* yang dirancang, yaitu *Progression, Creativity, dan Productivity*.

Tabel 6. Evaluasi elemen *dynamics* pada sistem

Elemen <i>Dynamics</i>	Kegiatan Pengujian	Hasil Aktual
<i>Progression</i>	Melihat progress kegiatan suatu mata kuliah yang telah dilaksanakan oleh mahasiswa/pemain setelah menyelesaikan <i>quest</i> dan mendapatkan <i>points</i> .	Menampilkan halaman Profil Pemain yang didalamnya berisi progress bar, daftar <i>badge</i> , total <i>points</i> .
<i>Creativity</i>	Melihat persaingan antar mahasiswa/pemain pada suatu mata kuliah	Menampilkan halaman Profil Pemain untuk informasi <i>progress bar</i> dan <i>badge</i> dan juga halaman <i>Leaderboard</i> .
<i>Productivity</i>	Melihat hasil yang didapatkan oleh masing-masing mahasiswa/pemain yang mengikuti suatu mata kuliah	Menampiiikan halaman Profil Pemain yang berisi mengenai total <i>point</i> dan juga hasil nilai grade nilai yang didapat hasil konversi dari <i>point</i> .

Kesesuaian hasil yang diharapkan berdasarkan kegiatan evaluasi sistem pada elemen *mechanics* dan *dynamics* akan berpengaruh terhadap elemen *aesthetics* yang menekankan pada kesenangan, kepuasan dan ketertarikan mahasiswa/pemain pada suatu mata kuliah melalui fungsi yang disediakan aplikasi. Berikut unsur *aesthetics* yang dimunculkan oleh elemen *mechanics* dan *dynamics*.

Tabel 7. Evaluasi elemen *aesthetics* pada sistem

Elemen <i>Aesthetics</i>	Evaluasi
<i>Narrative</i>	Memiliki cerita yang direkayasa dari sebuah game yang sedang populer, untuk menggiring mahasiswa/pemain masuk dalam permainan
<i>Challenges</i>	Memiliki tantangan yang disediakan dan harus diselesaikan oleh mahasiswa/pemain untuk mendapatkan <i>reward</i> .
<i>Fellowship</i>	Melibatkan hubungan dengan sesama mahasiswa./pemain karena harus menyelesaikan misi tertentu secara berkelompok sehingga terjalin persahabatan dan kerja sama antar mahasiswa.
<i>Discovery</i>	Memberikan sesuatu berupa <i>badge</i> atau <i>point</i> ketika menyelesaikan misi, sehingga mahasiswa/pemain semakin tertarik.
<i>Expression</i>	Menghasilkan berbagai perasaan ketika menyelesaikan misi mendapatkan <i>reward</i> dan melihat persaingan antar mahasiswa/pemain.
<i>Fantasy</i>	Memiliki unsur fantasi dimana seolah-olah tidak sedang belajar tapi sedang bermain <i>game</i> karena memiliki alur cerita yang diambil dari <i>game</i> yang sedang populer dan juga dari berbagai misi yang disediakan.

3. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan tentang implementasi model gamifikasi dengan *MDA Framework* pada aplikasi pengelolaan mata kuliah maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Model gamifikasi berhasil diimplementasikan pada aplikasi pengelolaan mata kuliah dengan menggunakan *MDA Framework*.
2. Komponen *Game Mechanics* yang diterapkan pada aplikasi pengelolaan mata kuliah yaitu *Storytelling*, *Points*, *Levels*, *Badge*, *Quest*, dan *Leaderboard* dan berdasarkan evaluasi dapat memberikan respon dan hasil yang sesuai.
3. Unsur *Dynamic* yang dirancang pada aplikasi ini adalah *Progression*, *Creativity*, dan *Productivity* dapat memberikan hasil sesuai dengan yang diharapkan.
4. Memiliki bermacam-macam perasaan yang dihasilkan oleh komponen *Aesthetics* adalah *Narrative*, *Challenges*, *Fellowship*, *Discovery*, *Expression*, *Fantasy* yang dimunculkan oleh komponen *mechanics* dan *dynamics*

PUSTAKA

- Deterding S., Dixon D., Khaled R., Nacke L. 2011. *From Game Design Elements to Gamefulness: Defining Gamification*. Mindtrek
- Hunicke R., LeBlanc M., Zubek R. 2004. *MDA: A formal approach to game design and game research*. Proceedings of the AAAI Workshop on Challenges in Game AI, vol.4
- Romdhoni F.H., Wibowo R.P. 2014. *Penerapan Gamification Pada Aplikasi Interaktif Pembelajaran SQL Berbasis Web*. Jurnal Teknik Pomits Vol.1, No.1
- Suyitno M. 2016. *Pengaruh Model Pembelajaran dan Minat Belajar Terhadap Hasil Belajar Instalasi Motor Listrik*. Jurnal Teknologi Pendidikan Vol.18 No.2

Trianto. 2009. *Model-Model Pembelajaran Inovatif Berorientasi Konstruktivistik*. Jakarta: Prestasi Pustaka
Zichermann G., Cunningham C. 2011. *Gamification by Design: Implementing Game Mechanics in Web and Mobile Apps*. CA: O'Reilly Media

PERBANDINGAN METODE NEWTON-RAPHSON MODIFIKASI DAN METODE SECANT MODIFIKASI DALAM PENENTUAN AKAR PERSAMAAN

Patrisius Batarius¹

¹Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandira
Jalan San Juan 2, Penfui Kupang
patrisbatarius@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan tingkat kinerja metode Newton-Raphson yang dimodifikasi dan metode Secant yang dimodifikasi. Perbandingan ini dilakukan untuk mencari akar persamaan yang menghasilkan akar ganda. Beberapa metode seperti metode bisection, metode regulafasi, metode Newton-Raphson dan metode Secant mengalami kesulitan dalam mencari akar persamaan non-linear yang memiliki akar ganda. Kesulitan ini diselesaikan dengan metode Newton-Raphson yang dimodifikasi atau dengan metode Secant yang dimodifikasi. Perbandingan yang ditunjukkan pada makalah ini adalah jumlah iterasi yang dibutuhkan dalam menemukan akar dengan derajat persamaan yang berbeda-beda. Pada makalah ini juga di berikan perbandingan penyelesaian persamaan linear yang memiliki akar ganda menggunakan metode Newton-Raphson dan metode Secant. Hasil menunjukkan bahwa metode Newton-Raphson dan metode Secant sulit menemukan akar ganda suatu persamaan. Masalah ini diselesaikan dengan metode Newton-Raphson yang dimodifikasi dan metode Secant yang dimodifikasi. Metode Newton-Raphson yang dimodifikasi lebih efektif daripada metode Secant yang dimodifikasi dalam mencari akar ganda. Derajat persamaan mempengaruhi jumlah iterasi dalam menentukan akar ganda.

Kata Kunci: Metod Newton-Raphson Modifikasi, Metode Secant Modifikasi, akar ganda,

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Persoalan matematika di bidang teknik sering dijumpai persamaan-persamaan non-linear. Fungsi-fungsi $f(x)$ bisa berbentuk persamaan aljabar, persamaan polynomial, persamaan trigonometri, persamaan transendental. Mencari akar persamaan-persamaan tersebut berarti membuat persamaan itu menjadi nol, $f(x)=0$. Tidak semua persamaan yang ada bisa diselesaikan dengan mudah menggunakan teori matematika. Sering menggunakan pendekatan metode numerik dalam penyelesaiannya.

Beberapa metode numerik yang sering digunakan mencari akar persamaan adalah metode Newton-Raphson dan metode Secant. Kedua metode ini merupakan metode terbuka. Metode Newton-Raphson menggunakan turunan fungsi dalam mencari akar persamaan linear. Sementara metode Secant merupakan pengembangan dari metode Newton-Raphson dalam menangani kesulitan mencari turunan sebuah fungsi.

Metode Newton-Raphson dan metode Secant memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Perbandingan ini ditinjau dari segi kecepatan konvergensi dalam mencari akar persamaan. Kelebihan dan kekurangan ini masih pada pencarian akar tunggal sebuah fungsi persamaan linear. Dalam kenyataannya persamaan matematika maupun persamaan di bidang teknik, sering menemukan akar ganda. Baik akar ganda yang memiliki dua buah maupun yang memiliki lebih dari dua akar ganda.

Dalam perkembangan selanjutnya, metode Newton-Raphson dan metode Secant dimodifikasi. Tujuan dari modifikasi ini untuk mencari akar ganda sebuah persamaan linear. Selanjutnya, bagaimana perbandingan kinerja metode Newton-Raphson yang dimodifikasi dengan metode Secant yang dimodifikasi dalam mencari akar ganda sebuah fungsi linear.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, rumusan masalah dalam penelitian ini:

1. Bagaimana perbandingan kinerja metode Newton-Raphson yang dimodifikasi dan metode Secant yang dimodifikasi dalam mencari akar ganda sebuah fungsi persamaan non-linear.
2. Bagaimana perbandingan kinerja metode Newton-Raphson dan metode Secant dengan metode Newton-Raphson yang dimodifikasi dan metode Secant yang dimodifikasi dalam mencari akar ganda sebuah fungsi persamaan non-linear.
3. Bagaimana pembuktian kesulitan metode Newton-Raphson dan metode Secant dalam mencari akar ganda sebuah fungsi persamaan non-linear.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini.

1. Membandingkan kinerja metode Newton-Raphson yang dimodifikasi dan metode Secant yang dimodifikasi dalam mencari akar ganda sebuah fungsi persamaan non-linear.
2. Membandingkan kinerja metode Newton-Raphson dan metode Secant dengan metode Newton-Raphson yang dimodifikasi dan metode Secant yang dimodifikasi dalam mencari akar ganda sebuah fungsi persamaan non-linear.
3. Membuktikan kesulitan metode Newton-Raphson dan metode Secant dalam mencari akar ganda sebuah fungsi persamaan non-linear.

1.4 Landasan Teori

1.4.1 Metode Newton-Raphson

Metode Newton-Raphson, merupakan salah satu metode untuk menemukan aproksimasi akar suatu persamaan. Metode ini diimplementasikan dalam satu variable x : $f(x) = 0$. Metode ini dimulai dengan fungsi f yang didefinisikan sebagai bilangan real x , turunan fungsi f' , dan tebakan awal x_0 untuk akar fungsi f . Jika fungsi memenuhi asumsi yang dibuat dalam turunan rumus dan tebakan awal yang dekat dengan akar sebenarnya, maka pendekatan x_1 diformulasikan:

$$x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)} \quad (1)$$

Secara geometris, $(x_1, 0)$ adalah perpotongan sumbu x dan garis singgung dari grafik f pada $(x_0, f(x_0))$. Proses ini diulang-ulang sampai prosesnya cukup akurat, sehingga secara umum persamaan metode Newton-Raphson diformulasikan sebagai berikut:

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f(x_i)}{f'(x_i)} \quad (2)$$

1.4.2 Metode Secant

Metode Secant merupakan metode yang mengatasi kelemahan dari metode Newton-Raphson. Metode Newton-Raphson mensyaratkan untuk mencari nilai turunan pertama dari fungsi $f(x)$ (Capra, et.al, 2008). Proses mencari nilai turunan membutuhkan waktu. Selain itu, tidak semua persamaan mudah untuk mencari turunannya. Untuk mengatasi kesulitan ini, mencari persamaan yang ekuivalen dengan rumus turunan fungsi, dengan menggunakan gradient garis yang melalui titik $(x_0, f(x_0))$ dan $(x_1, f(x_1))$.

Persamaan garis f adalah:

$$\frac{x_2 - x_1}{x_0 - x_1} = \frac{0 - f(x_1)}{f(x_0) - f(x_1)} \quad (3)$$

Secara umum rumus metode Secant ditulis:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n) * (x_n - x_{n-1})}{f(x_n) - f(x_{n-1})} \quad (4)$$

Prosedur metode secant :

Tentukan dua titik awal, x_0 dan x_1 . Penentuan titik awal dilakukan sembarang. Setelah itu hitung x_2 menggunakan rumus persamaan (4). Pada iterasi selanjutnya titik yang diambil adalah x_1 dan x_2 sebagai titik awal untuk menghitung x_3 . Kemudian x_2 dan x_3 ditentukan sebagai titik awal untuk menghitung x_4 . Dilakukan terus menerus sampai mencapai error yang cukup kecil.

1.4.3 Metode Newton-Raphson Yang Dimodifikasi

Misalnya, dua akar ganda dihasilkan dari persamaan:

$$f(x) = (x - 3)(x - 1)(x - 1) \quad (5)$$

atau dengan mengalikan faktor-faktornya,

$$f(x) = x^3 - 5x^2 + 7x - 3$$

Persamaan tersebut mempunyai akar kembar karena satu nilai menyebabkan dua faktor dalam persamaan (5) sama dengan nol. Secara grafis, ini berpadanan terhadap kurva yang menyentuh sumbu x secara bersinggungan pada akar kembar tersebut.

Tiga buah akar ganda (triple root) berpadanan dengan kasus dimana satu nilai x membuat tiga faktor dalam suatu persamaan sama dengan nol, seperti persamaan berikut:

$$f(x) = (x - 3)(x - 1)(x - 1)$$

atau dengan mengalikan faktor-faktornya,

$$f(x) = x^4 - 6x^3 + 12x^2 - 10x - 3$$

Kesulitan yang ditimbulkan oleh akar ganda dari penerapan metode numerik (Chapara, 2008.) sebagai berikut:

1. Metode tertutup seperti metode bisection dan metode regulafalsi, bahwa fungsi tidak berubah tanda pada akar ganda genap.
2. Metode terbuka seperti metode Newton-Raphson kecepatan konvergensi berjalan secara linear, tidak kuadratis sebagaimana aslinya.
3. Tidak hanya fungsi $f(x)$ tetapi turunan pertama fungsi $f(x)$, yakni $f'(x)$ menuju nol pada akar, baik metode Newton-Raphson maupun metode Secant. Kedua metode ini menggunakan turunan dalam pengembangan persamaannya. Jika $f(x)=0$ maka iterasi dihentikan
4. Dalam Chapara, 2008, Ralston dan Rabinowitz (1978) telah menunjukkan bahwa menunjukkan bahwa perubahan sedikit dalam perumusan mengembalikannya ke kekonvergenan kuadrat, seperti dalam

$$x_{i+1} = x_i - m \frac{f(x_i)}{f'(x_i)} \quad (6)$$

Dengan m adalah bilangan multiplisitas akar, misalnya :

- Akar tunggal $m=1$
- Akar ganda dua $m=2$
- Akar ganda tiga $m=3$, dan seterusnya.

Alternatif lain yang juga disarankan oleh Ralston dan Rabinowitz (1978), (Chapara, 2008), adalah mendefinisikan suatu fungsi baru $u(x)$, yaitu rasio (hasil bagi) fungsi terhadap turunannya seperti dalam

$$u(x) = \frac{f(x_i)}{f'(x_i)} \quad (7)$$

Dapat diperhatikan bahwa fungsi ini mempunyai akar pada lokasi yang sama seperti fungsi semula. Oleh karena itu, persamaan (7) dapat disubstitusikan ke dalam persamaan (6) dengan maksud mengembangkan suatu bentuk alternatif dari metode Newton-Raphson:

$$x_{i+1} = x_i - \frac{u(x_i)}{u'(x_i)} \quad (8)$$

Persamaan (7) dapat didiferensialkan menghasilkan

$$u'(x) = \frac{f'(x)f'(x) - f(x)f''(x)}{[f'(x)]^2} \quad (9)$$

Persamaan (7) dan persamaan (9) dapat disubstitusikan ke dalam persamaan (4) (8) dan hasilnya disederhanakan untuk menghasilkan

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f(x_i)f'(x_i)}{[f'(x_i)]^2 - f''(x_i)f(x_i)} \quad (10)$$

1.4.4 Metode Secant yang Dimodifikasi

Metode Secant yang dimodifikasi bisa digunakan untuk mencari akar ganda. Pengembangan metode Secant modifikasi diperoleh dari memasukan persamaan (7) ke persamaan (4).

Persamaan Secant yang dimodifikasi untuk mencari akar ganda:

$$x_{i+1} = x_i - \frac{u(x_i)(x_{i-1} - x_i)}{u(x_{i-1}) - u(x_i)} \quad (11)$$

1.5 Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang pencarian akar suatu persamaan non linear, lebih pada persamaan yang memiliki akar tunggal. Beberapa metode yang digunakan dibandingkan dengan metode lainnya. Diantaranya yang perbandingan metode Secant, metode Newton-Raphson dan metode bisection. Parameter yang dibandingkan adalah jangka waktu iterasi dan tingkat error. Tingkat konvergensi yang cepat dari ketiga metode itu adalah metode Newton-Raphson. Metode yang lebih efektif dan lebih cepat menemukan akar adalah metode Secant, (Dey, 2015). Dalam hal efisiensi mencari akar, metode Secant banyak dikembangkan, (Imran, et.al, 2016). Diantaranya dalam menganalisis konvergensi suatu persamaan, (Magrean, et.al, 2015).

Metode Newton-Raphson efektif dalam menentukan nilai intrinsik. Dari sisi konvergensi tingkat konvergensi metode Secant lebih efektif (Hussein, at.,al, 2015). Metode Secant paling efektif dalam menyelesaikan persamaan $f(x)=0$ pada range $[0,1]$, (Ehiwario,et.al, 2014). Untuk fungsi $f(x)=\cos x - \exp(x)$ pada daerah interval $[0,1]$, metode bisection paling efektif dalam menentukan akar daripada metode lainnya (Ahmad, 2015).

Derajat persamaan mempengaruhi tingkat konvergensi beberapa metode numerik, (Kumar, at.,al, 2015). Fungsi-fungsi tertentu metode Newton-Raphson memiliki tingkat konvergensi lebih baik, (Sharma, 2017)

Dalam pengembangan selanjutnya, metode pencarian akar dilakukan dengan menggabungkan beberapa metode (Mohammad, 2015). Metode Secant dan Newton-Raphson, dikembangkan dengan pendekatan geometri untuk mencari akar persamaan non linear dengan nama metode Newton-Secant, (Tores, 2015).

Dari uraian diatas, pencarian akar yang dibahas merupakan akar tunggal, baik persamaan polynomial, persamaan sinusoidal. Penelitian ini membahas persamaan polynomial non linear yang memiliki akar ganda. Metode yang digunakan metode Newton-Raphson yang dimodifikasi dan metode Secant yang dimodifikasi.

2. PEMBAHASAN

Dalam pembahasan ini akan dilakukan proses penyelesaian persamaan linear dengan metode bisection, metode regula falsi, metode Newton Raphson dan metode Secant. Selain itu akan dibahas penyelesaian metode Newton-Raphson yang dimodifikasi dan metode Secant yang dimodifikasi. Soal yang diselesaikan merupakan soal yang memiliki akar tunggal dan akar ganda. Hasil penyelesaian akan dibandingkan.

Soal dalam contoh ini ada tiga jenis. Masing-masing memiliki akar ganda 2 buah untuk persamaan orde 3 dan akar ganda 3 buah untuk persamaan orde 4. Pada awalnya akan dilakukan proses pencarian akar ganda menggunakan metode yang Newton-Raphson dan metode Secant sebelum dilakukan modifikasi.

Persamaan-persamaan yang akan diuji adalah:

1. $f(x) = (x - 3)(x-1)(x-1) = x^3 - 5x^2 + 7x - 3$
2. $f(x) = (x - 3)(x-1)(x-1)(x-1) = x^4 - 6x^3 + 12x^2 - 10x + 3$
3. $f(x) = x^3 - 3x + 2$

Penyelesaian berikut untuk mencari akar ganda dari masing-masing ketiga persamaan diatas.

Proses penyelesaian dengan metode Newton-Raphson dan metode Secant sebagai berikut:

1. Persamaan $f(x) = (x - 3)(x-1)(x-1) = x^3 - 5x^2 + 7x - 3$

Dengan menggunakan formulasi metode Newton-Raphson, persamaan (2), pencarian akar ganda untuk persamaan fungsi pada nomor 1 hasilnya bisa dilihat pada tabel 1 berikut.

$$f(x) = x^3 - 5x^2 + 7x - 3$$

$$f'(x) = 3x^2 - 10x + 7$$

Secara analiti, akar ganda sama dengan 1

Tabel 1. Hasil pencarian akar ganda metode Newton-Raphson.

Iterasi	x_i	$f(x_i)$	$f'(x_i)$	x_{i+1}	ea
1	0.5000	-0.6250	2.7500	0.7273	31.2500
2	0.7273	-0.1690	1.3140	0.8559	15.0301
3	0.8559	-0.0445	0.6386	0.9256	7.5300
4	0.9256	-0.0115	0.3141	0.9622	3.7974
5	0.9622	-0.0029	0.1557	0.9809	1.9114
6	0.9809	-0.0007	0.0775	0.9904	0.9596
7	0.9904	-0.0002	0.0387	0.9952	0.4809

ea= error aproksimasi

Metode Secant, mencari akar ganda fungsi pada nomor 1 menggunakan formulasi metode Secant, pada persamaan (4). Pencarian akar ganda untuk persamaan fungsi pada nomor 1 hasilnya bisa dilihat pada tabel 2 berikut.

$$f(x) = x^3 - 5x^2 + 7x - 3$$

Secara analitik, akar ganda sama dengan 1

Tabel 2. Hasil pencarian akar ganda metode Secant.

iterasi	x_{i-1}	x_n	$f(x_{i-1})$	$f(x_i)$	x_{i+1}	ea
1	0.5000	2.0000	-0.6250	-1.0000	-2.0000	200.0000
2	2.0000	-2.0000	-1.0000	-45.0000	2.0909	195.6522
3	-2.0000	2.0909	-45.0000	-1.0819	2.1917	4.5981
4	2.0909	2.1917	-1.0819	-1.1479	0.4391	399.1421
5	2.1917	0.4391	-1.1479	-0.8057	-3.6876	111.9074
6	0.4391	-3.6876	-0.8057	-146.9469	0.4618	898.4457
7	-3.6876	0.4618	-146.9469	-0.7351	0.4827	4.3218

ea= error aproximasi

2. Persamaan $f(x) = (x-3)(x-1)(x-1) = x^4 - 6x^3 + 12x^2 - 10x + 3$
Dengan menggunakan formulasi metode Newton-Raphson, persamaan (2), pencarian akar ganda untuk persamaan fungsi pada nomor 1 hasilnya bisa dilihat pada tabel 1 berikut.

$$f(x) = x^4 - 6x^3 + 12x^2 - 10x + 3$$

$$f'(x) = 4x^3 - 18x^2 + 24x - 10$$

Secara analiti, akar ganda sama dengan 1.

Tabel 3. Hasil pencarian akar ganda metode Newton-Raphson.

iterasi	x_i	$f(x_i)$	$f'(x_i)$	x_{i+1}	ea
1	1.5000	-0.3750	-1.2500	1.2000	25.0000
2	1.2000	-0.0720	-0.6800	1.0941	9.6774
3	1.0941	-0.0169	-0.3499	1.0459	4.6134
4	1.0459	-0.0041	-0.1772	1.0227	2.2692
5	1.0227	-0.0010	-0.0891	1.0113	1.1269
6	1.0113	-0.0003	-0.0447	1.0056	0.5617
7	1.0056	-0.0001	-0.0224	1.0028	0.2804

ea= error aproximasi

Metode Secant, mencari akar ganda fungsi pada nomor 1 menggunakan formulasi metode Secant, pada persamaan (4). Pencarian akar ganda untuk persamaan fungsi pada nomor 1 hasilnya bisa dilihat pada tabel 2 berikut.

$$f(x) = x^4 - 6x^3 + 12x^2 - 10x + 3$$

Secara analitik, akar ganda sama dengan 1

Tabel 4. Hasil pencarian akar ganda metode Secant.

iterasi	x_{i-1}	x_i	$f(x_{i-1})$	$f(x_i)$	x_{i+1}	ea(%)
1	0.5000	2.0000	0.3125	-1.0000	0.8571	133.3333
2	2.0000	0.8571	-1.0000	0.0062	0.8642	0.8210
3	0.8571	0.8642	0.0062	0.0053	0.9062	4.6329
4	0.8642	0.9062	0.0053	0.0017	0.9263	2.1635

5	0.9062	0.9263	0.0017	0.0008	0.9449	1.9695
6	0.9263	0.9449	0.0008	0.0003	0.9580	1.3731
7	0.9449	0.9580	0.0003	0.0002	0.9683	1.0611
8	0.9580	0.9683	0.0002	0.0001	0.9760	0.7895
9	0.9683	0.9760	0.0001	0.0000	0.9819	0.5969
10	0.9760	0.9819	0.0000	0.0000	0.9863	0.4490

ea= error aproximasi

3. Persamaan $f(x) = x^3 - 3x + 2$

Dengan menggunakan formulasi metode Newton-Raphson, persamaan (2), pencarian akar ganda untuk persamaan fungsi pada nomor 1 hasilnya bisa dilihat pada tabel 1 berikut.

$$f(x) = x^3 - 3x + 2$$

$$f'(x) = 3x^2 - 3$$

Secara analiti, akar ganda sama dengan 1.

Tabel 5. Hasil pencarian akar ganda metode Newton-Raphson.

iterasi	x_i	$f(x_i)$	$f'(x_i)$	x_{i+1}	ea
1	1.5000	0.8750	3.7500	1.2667	18.4211
2	1.2667	0.2323	1.8133	1.1386	11.2514
3	1.1386	0.0603	0.8890	1.0708	6.3304
4	1.0708	0.0154	0.4397	1.0358	3.3777
5	1.0358	0.0039	0.2186	1.0180	1.7476
6	1.0180	0.0010	0.1090	1.0090	0.8893
7	1.0090	0.0002	0.0544	1.0045	0.4487

ea= error aproximasi

4. Metode Secant, mencari akar ganda fungsi pada nomor 1 menggunakan formulasi metode Secant, pada persamaan (4). Pencarian akar ganda untuk persamaan fungsi pada nomor 1 hasilnya bisa dilihat pada tabel 2 berikut.

$$f(x) = x^4 - 6x^3 + 12x^2 - 10x + 3$$

Secara analitik, akar ganda sama dengan 1

Tabel 6. Hasil pencarian akar ganda metode Secant.

Iterasi	x_{i-1}	x_i	$f(x_{i-1})$	$f(x_i)$	x_{i+1}	ea(%)
1	0.5000	2.0000	0.6250	4.0000	0.2222	800.0000
2	2.0000	0.2222	4.0000	1.3443	-0.6777	132.7913
3	0.2222	-0.6777	1.3443	3.7218	0.7311	192.7000
4	-0.6777	0.7311	3.7218	0.1975	0.8100	9.7484
5	0.7311	0.8100	0.1975	0.1014	0.8933	9.3270
6	0.8100	0.8933	0.1014	0.0329	0.9334	4.2893
7	0.8933	0.9334	0.0329	0.0130	0.9596	2.7308
8	0.9334	0.9596	0.0130	0.0048	0.9751	1.5877

ea= error aproximasi

Dari uraian soal nomor 1 sampai nomor 3 diatas, terlihat bahwa baik metode Newton-Raphson maupun metode Secant sulit menemukan akar ganda. Hasilnya divergen dari akar sebenarnya. Nilai awal yang diberikan sangat dekat dengan nilai sebenarnya.

Proses pencarian akar ganda dengan metode Newton-Raphson yang dimodifikasi dengan metode Secant yang dimodifikasi sebagai berikut:

1. Persamaan : $f(x) = (x-3)(x-1)(x-1) = x^3 - 5x^2 + 7x - 3$

Secara analisis akar diperoleh pada $x=3$ dan $x=1$ (akar kembar)

Dengan menggunakan metode Newton-Raphson yang dimodifikasi, persamaan yang digunakan adalah persamaan (5).

$$f(x) = x^3 - 5x^2 + 7x - 3$$

$$f'(x) = 3x^2 - 10x + 7$$

$$f''(x) = 6x - 10$$

Nilai awal = 0

Tabel 7. hasil perhitungan metode Newton-Raphson yang dimodifikasi

Iterasi	x_i	$f(x_i)$	$f'(x_i)$	$f''(x_i)$	x_{i+1}	ea(%)
1	0.0000	-3.0000	7.0000	-10.0000	1.1053	100%
2	1.1053	-0.0210	-0.3878	-3.3684	1.0031	10.1868%
3	1.0031	0.0000	-0.0123	-3.9815	1.0000	0.3079%
4	1.0000	0.0000	0.0000	-4.0000	1.0000	0.0002%
5	1.0000	0.0000	0.0000	-4.0000	1.0000	0 %

ea= error aprosimasi

Dengan menggunakan metode Secant yang dimodifikasi, dengan menggunakan persamaan (7)

$$f(x) = x^3 - 5x^2 + 7x - 3$$

$$f'(x) = 3x^2 - 10x + 7$$

nilai awal $x_{i-1}=0,00$ dan $x_i=2$

Tabel 8. hasil perhitungan metode Secant yang dimodifikasi

i	x_{i-1}	x_i	$f(x_{i-1})$	$f(x_i)$	$f'(x_i)$	$f'(x_{i-1})$	x_{i+1}	ea(%)
1	0.0000	2.0000	-3.0000	-1.0000	-1.0000	7.0000	0.6000	233%
2	2.0000	0.6000	-1.0000	-0.3840	2.0800	-1.0000	0.8182	26.6667%
3	0.6000	0.8182	-0.3840	-0.0721	0.8264	2.0800	1.0138	19.2950%
4	0.8182	1.0138	-0.0721	-0.0004	-0.0546	0.8264	0.9994	1.4380%
5	1.0138	0.9994	-0.0004	0.0000	0.0023	-0.0546	1.0000	0.0577%
6	0.9994	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0023	1.0000	0.0002%
7	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000%

ea= error aprosimasi

2. $f(x) = (x-3)(x-1)(x-1)(x-1) = x^4 - 6x^3 + 12x^2 - 10x + 3$

Secara analisis akar diperoleh pada $x=3$ dan $x=1$ (ada 3 akar kembar)

Dengan menggunakan metode Newton-Raphson yang dimodifikasi, persamaan yang digunakan adalah persamaan (5).

$$f(x) = x^4 - 6x^3 + 12x^2 - 10x + 3$$

$$f'(x) = 4x^3 - 18x^2 + 24x - 10$$

$$f''(x) = 12x^2 - 36x + 24$$

Nilai awal = 0

Tabel 9. hasil perhitungan metode Newton-Raphson yang dimodifikasi

Iterasi	x_i	$f(x_i)$	$f'(x_i)$	$f''(x_i)$	x_{i+1}	ea(%)
1	0.0000	3.0000	-10.0000	24.0000	1.0714	100.0000
2	1.0714	-0.0007	-0.0292	-0.7959	1.0009	7.0450
3	1.0009	0.0000	0.0000	-0.0110	1.0000	0.0914
4	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000

ea= error aprosimasi

Dengan menggunakan metode Secant yang dimodifikasi, dengan menggunakan persamaan (7)

$$f(x) = x^4 - 6x^3 + 12x^2 - 10x + 3$$

$$f'(x) = 4x^3 - 18x^2 + 24x - 10$$

nilai awal $x_{i-1}=0,00$ dan $x_i=2$

Tabel 10. hasil perhitungan metode Secant yang dimodifikasi

i	x_{i-1}	x_i	$f(x_{i-1})$	$f(x_i)$	$f'(x_i)$	$f'(x_{i-1})$	x_{i+1}	ea(%)
1	0.0000	2.0000	3.0000	-1.0000	-2.0000	-10.0000	0.7500	166.6667
2	2.0000	0.7500	-1.0000	0.0352	-0.4375	2.0000	0.9231	18.7500
3	0.7500	0.9231	0.0352	0.0009	-0.0373	0.7500	1.0027	7.9445
4	0.9231	1.0027	0.0009	0.0000	0.0000	0.9231	1.0000	0.2774
5	1.0027	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0027	1.0000	0.0033
6	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000

ea= error aprosimasi

3. $f(x) = x^3 - 3x + 2$

Secara analisis akar diperoleh pada $x = -2$ dan $x = 1$ (ada 2 akar kembar).

Dengan menggunakan persamaan (5), metode Newton-Raphson yang dimodifikasi, hasilnya sebagai berikut:

$$f(x) = x^3 - 3x + 2$$

$$f'(x) = 3x^2 - 3$$

$$f''(x) = 6x$$

Nilai awal = 0

Tabel 11. hasil perhitungan metode Newton-Raphson yang dimodifikasi untuk persamaan $x^3 - 3x + 2$

Iterasi	x_i	$f(x_i)$	$f'(x_i)$	$f''(x_i)$	x_{i+1}	ea
1	0.0000	2.0000	-3.0000	0.0000	0.6667	100%
2	0.6667	0.2963	-1.6667	4.0000	0.9767	31.7460%
3	0.9767	0.0016	-0.1379	5.8605	0.9999	2.3166%
4	0.9999	0.0000	-0.0005	5.9995	1.0000	0.0092%
5	1.0000	0.0000	0.0000	6.0000	1.0000	0 %

ea= error aprosimasi

Dengan menggunakan metode Secant yang dimodifikasi, dengan menggunakan persamaan (7)

$$f(x) = x^3 - 3x + 2$$

$$f'(x) = 3x^2 - 3$$

nilai awal $x_{i-1}=0,00$ dan $x_i=2$

Tabel 12. hasil perhitungan metode Secant yang dimodifikasi

i	x_{i-1}	x_i	$f(x_{i-1})$	$f(x_i)$	$f'(x_i)$	$f'(x_{i-1})$	x_{i+1}	ea
1	0.0000	2.0000	2.0000	4.0000	9.0000	-3.0000	1.2000	66.6667%
2	2.0000	1.2000	4.0000	0.1280	1.3200	9.0000	0.9767	22.8571%
3	1.2000	0.9767	0.1280	0.0016	-0.1379	1.3200	1.0007	2.3971%
4	0.9767	1.0007	0.0016	0.0000	0.0044	-0.1379	1.0000	0.0730%
5	1.0007	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0044	1.0000	0.0003%
6	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000%

ea= error aprosimasi

Akibat pemilihan nilai awal terhadap jumlah iterasi. Iterasi berhenti sampai pada nilai kesalahan aprosimasi (e_a) sama dengan 0%. Perbandingan masih menggunakan tiga persamaan diatas, dengan derajat yang berbeda baik untuk akar ganda maupun untuk akar tunggal.

Tabel 13. Pengaruh pemilihan nilai awal terhadap jumlah iterasi pada metode Newton-Raphson yang dimodifikasi untuk akar ganda.

No	Persamaan	Nilai awal	Selisih x_i dengan nilai akar yang dicari	Jumlah Iterasi (berdasarkan nilai $ea=0$)	Akar yang diperoleh
1	$f(x) = x^3 - 5x^2 + 7x - 3$	-1	2	5	1
		0	1	4	1
		0.5	0.5	4	1
		0.75	0.25	3	1
2	$f(x) = x^4 - 6x^3 + 12x^2 - 10x + 3$	-1	2	4	1
		0	1	4	1
		0.5	0.5	3	1
		0.75	0.25	2	1
3	$f(x) = x^3 - 3x + 2$	-1	2	0	1
		0	1	4	1
		0.5	0.5	4	1
		0.75	0.25	3	1

Tabel 14. Pengaruh pemilihan nilai awal terhadap jumlah iterasi pada metode Secant yang dimodifikasi untuk akar ganda.

No	Persamaan	Nilai awal		Selisih x_i dengan nilai akar yang dicari	Jumlah Iterasi	Akar yang diperoleh
		x_{i-1}	x_i			
1	$f(x) = x^3 - 5x^2 + 7x - 3$	0	2.5	1.5	9	1
		0	2	1	7	1
		0	1.5	0.5	6	1
		0	1.25	0.25	5	1
2	$f(x) = x^4 - 6x^3 + 12x^2 - 10x + 3$	0	2.4	1.4	7	1
		0	2	1	6	1
		0	1.5	0.5	5	1
		0	1.25	0.25	4	1
3	$f(x) = x^3 - 3x + 2$	0	2.5	1.5	6	1
		0	2	1	6	1
		0	1.5	0.5	5	1
		0	1.25	0.25	4	1

Tabel 15. Pengaruh pemilihan nilai awal terhadap jumlah iterasi pada metode Newton-Raphson yang dimodifikasi untuk akar tunggal.

No	Persamaan	Nilai awal	Selisih x_i dengan nilai akar yang dicari	Jumlah iterasi (berdasarkan nilai $ea=0$)	Akar yang diperoleh
1	$f(x) = x^3 - 5x^2 + 7x - 3$	2.75	0.25	5	3
		2.5	0.5	6	3
		4	1	7	3
		4.5	1.5	8	3
2	$f(x) = x^4 - 6x^3 + 12x^2 - 10x + 3$	2.75	0.25	5	3
		3.5	0.5	6	3
		2.6	0.4	7	3
		3.9	0.9	8	3
3	$f(x) = x^3 - 3x + 2$	-3	1	6	-2
		-4	2	7	-2
		-3.5	1.5	7	-2
		-4.5	2.5	9	-2

Tabel 16. Pengaruh pemilihan nilai awal terhadap jumlah iterasi pada metode Secant yang dimodifikasi untuk akar tunggal.

No	Persamaan	Nilai awal		Selisih x_i dengan nilai akar yang dicari	Jumlah Iterasi	Akar yang diperoleh
		x_{i-1}	x_i			
1	$f(x) = x^3 - 5x^2 + 7x - 3$	2.5	3.5	0.5	7	3
		2.5	4	1	8	3
		2.5	4.5	1.5	9	3
		2.5	5	2	10	3
2	$f(x) = x^4 - 6x^3 + 12x^2 - 10x + 3$	2.5	3.5	0.5	6	3
		2.5	4	1	7	3
		2.5	4.5	1.5	8	3
		2.5	5	2	11	3
3	$f(x) = x^3 - 3x + 2$	-2.5	-1.5	0.5	6	-2
		-2.5	-1.25	0.75	7	-2
		-2.5	-0.25	1.75	11	-2
		-2.5	-0.5	1.5	13	-2

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat berdasarkan pembahasan diatas:

1. Jika diukur pada patokan pada lima iterasi saja, maka untuk mencari akar persamaa yang memiliki akar ganda metode Newton-Raphson lebih efektif dan lebih cepat.
2. Dilihat dari sisi tingkat derajat persamaan, pencarian akar ganda baik dengan menggunakan metode Newton-Raphson yang dimodifikasi maupun metode Secant yang dimodifikasi, memiliki pengaruh terhadap jumlah iterasi. Jika derajat persamaan semakin tinggi jumlah iterasinya semakin banyak. Dapat dilihat pada hasil tabel 1, tabel 2, tabel 3 dan tabel 4.
3. Pengaruh pemilihan nilai awal terhadap akar yang dicari. Untuk metode Newton-Raphson, jika nilai awal yang dipilih dekan dekat nilai akar yang ciari baik untuk akar ganda maupun akar tunggal, jumlah iterasi akan makin sedikit, demikian untuk sebaliknya (hasil tabel 5 dan 7). Untuk metode Secant, juga demikia, dengan catatan, nilai x_{i-1} tidak berubah dalam penentuan nilai awal. Metode Secant hanya diubah pada nilai x_i nya saja (hasil pada tabel 6 dan 8).
4. Namun demikian, sesuai dengan prinsip metode terbuka, bahwa, penentuan nilai awal yang jauh dari nilai akar yang dicari, baik maetode Newton-Raphson maupun metode Secant akan memprioritaskan pencarian akar ganda. Hasilnya bisa dilihat pada tabel 9.

5. Secara umum, metode Newton-Raphson yang dimodifikasi lebih efektif dibandingkan metode Secant yang dimodifikasi dalam penentuan akar ganda.

PUSTAKA

- Chapra, S. C., Canale, R. P., 2008, *Numerical Methods for Engineers*. — 6th ed.p. cm. ISBN 978-0-07-340106-5 — ISBN 0-07-340106-4
- Dey, A., 2015, Mathematical Model Formulation and Comparison Study of Various Methods of Root- Finding Problems, *IOSR Journal of Mathematics (IOSR-JM)* e-ISSN: 2278-5728, p-ISSN: 2319-765X. Volume 11, Issue 2 Ver. III (Mar - Apr. 2015), PP 64-71
- Imran, M., Syamsudhuha,., Putra, S., 2016, A NEW FAMILY OF SECANT-LIKE METHOD WITH SUPER-LINEAR CONVERGENCE, *International Journal of Pure and Applied Mathematics* Volume 110 No. 1 2016, 1-7 ISSN: 1311-8080 (printed version); ISSN: 1314-3395 (on-line version) url: <http://www.ijpam.eu> doi: 10.12732/ijpam.v110i1.1
- Magrean, A.A., Argyros, I.K., 2015, EXPANDING THE APPLICABILITY OF SECANT METHOD WITH APPLICATIONS, *Bull. Korean Math. Soc.* 52 (2015), No. 3, pp. 865–880 <http://dx.doi.org/10.4134/BKMS.2015.52.3.865>
- Hussein, K.A., Altaee, A.A.H., Hoomod, H.K., 2015, Parallel Hybrid Algorithm of Bisection and Newton-RaphsoMethods to Find Non-Linear Equations Roots, *IOSR Journal of Mathematics (IOSR-JM)* e-ISSN: 2278-5728, p-ISSN: 2319-765X. Volume 11, Issue 4 Ver. II (Jul - Aug. 2015), PP 32-36
- Ehiwario, J.C., Aghamie, S.O., 2014, **Comparative Study of Bisection, Newton-Raphson and Secant Methods of Root- Finding Problems**, *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)* ISSN (e): 2250-3021, ISSN (p): 2278-8719. Vol. 04, Issue 04 (April. 2014), ||V1|| PP 01-07
- Ahmad, A. G., 2015, Comparative Study of Bisection and Newton-Rhapson Methods of Root-Finding Problems , *International Journal of Mathematics Trends and Technology- Volume 19 Number 2 Mar 2015.*
- Kumar, R., Vipan, 2015, Comparative Analysis of Convergence of Various Numerical Methods, *Journal of Computer and Mathematical Sciences*, Vol.6(6),290-297, June 2015 ISSN 0976-5727 (Print), ISSN 2319-8133 (Online),(An International Research Journal), www.compmath-journal.org
- Sharma,S.K., 2017, A Comparative Analysis of Rate of Convergence For Linear And Quadratic Approximations in N-R Method , *World Journal of Research and Review (WJRR)* ISSN:2455-3956, Volume-4, Issue-5, May 2017 Pages 94-96
- Mohammad, H., 2015, A Simple Hybrid Method for Finding the Root of Nonlinear Equations *IJSRST* | Volume 1 | Issue 4 | Print ISSN: 2395-6011 | Online ISSN: 2395-602X *IJSRST*151420 | Received: 09 October 2015 | Accepted: 16 October 2015 | September-October 2015 [(1)4: 80-83]
- Torres, F.G., 2015, to Achieve Convergence of Order $1+\sqrt{2}$ and Its Dynamics A Novel Geometric Modification to the Newton-Secant Method, *Hindawi Publishing Corporation Modelling and Simulation in Engineering* Volume 2015, Article ID 502854, 6 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2015/502854>

RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION DENGAN AKSES MULTI-LEVEL BERBASIS WEB

Pinrolinvic Manembu¹, Debby Paseru²

¹ Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi Manado
Jalan Kampus, Bahu Malalayang Manado 95115
Telp. (0431) 863886

² Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Katolik De La Salle Manado
Kombos, Kairagi I – Manado 95253
E-mail: pmanembu@unsrat.ac.id, dpaseru@unikadelasalle.ac.id

ABSTRAK

Radio Frequency Identification (RFID) semakin ramai dibicarakan saat ini, karena perangkat ini dapat ditemukan pada telepon selular, kartu tanda penduduk, ataupun pada kartu-kartu identitas karyawan pada beberapa instansi. RFID adalah sebuah teknologi yang dapat mendeteksi identitas dengan menggunakan kartu RFID. Pada penelitian ini telah dikembangkan suatu sistem yang menggunakan teknologi RFID untuk menentukan hak akses terhadap ruangan di gedung perkantoran ataupun gedung lain yang memiliki sistem pintu berlapis seperti pintu akses untuk umum, pintu khusus karyawan dan pintu khusus pimpinan, dimana pimpinan memiliki hak akses tertinggi. Disamping itu pula dikembangkan Standard Operation Procedure (SOP) khusus untuk pengoperasian sistem pintu berbasis RFID ini. Pada sistem yang berbasis client-server ini, dikembangkan algoritma khusus untuk penentuan hak akses pintu dengan akses multi-level untuk pengguna dengan tujuan untuk meningkatkan faktor keamanan aktivitas di gedung. Perangkat lunak yang dikembangkan memiliki fitur tambahan yang dapat memonitor dan merekam setiap aktivitas yang ada pada setiap pintu akses, sekaligus dapat memonitor akses-akses ilegal yang terjadi. Seluruh komponen dari sistem ini telah berfungsi dengan baik sesuai dengan SOP yang ada.

Kata kunci: Radio Frequency Identification, Standart Operation Procedure, algoritma, akses multi-level, client-server.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang begitu cepat membuat sejumlah kalangan ingin memanfaatkan teknologi tersebut. Salah satu jenis teknologi yang begitu bermanfaat bagi manusia adalah *Radio Frequency Identification* (RFID). Perangkat ini dapat ditemukan pada telepon selular, kartu tanda penduduk yang dimiliki setiap warga dewasa di Indonesia, ataupun pada kartu identitas karyawan pada beberapa instansi. Sistem RFID adalah sebuah teknologi yang dapat mendeteksi identitas dengan menggunakan RFIDTag (kartu). Pengenalan identitas pada RFID terbilang unik karena tidak harus bersentuhan langsung dengan RFID Reader. RFID menggunakan transmisi gelombang radio untuk mengidentifikasi dan mengendalikan data dari jarak jauh. Prinsip penggunaan RFIDTag mirip dengan penggunaan *barcode* yang melekat pada sebuah objek yang menyimpan identifikasi data objek (Yuwono, 2014). Pemanfaatan RFID ini sudah banyak diterapkan dalam kehidupan sehari-hari seperti pada pusat perbelanjaan, *tracking* barang di industri besar (Alp dan Mehmet, 2009), bidang kesehatan (Iwan dan Shahrour, 2011), sistem keamanan pintu tol (Eridani, Chrityono dan Santoso, 2011), pembayaran biaya parkir otomatis (Siahaan dan Fakhruddin, 2014), miniatur lift (Beny dkk., 2015) dan lainnya.

Salah satu penelitian tentang RFID sudah pernah dikerjakan sebelumnya yaitu membangun sebuah sistem pengamanan pintu jamak dengan RFID sensor dan sebuah aplikasi berbasis *web* untuk memonitor, mengendalikan dan menyimpan semua histori data penggunaan RFIDTag serta pembatasan penggunaan pintu secara periodik selama 30 hari, dimana diletakkan sebuah mikrokontroler sebagai jembatan antara RFID sensor dan aplikasi *web* yang dibuat (Manembu, 2015). Namun pada penelitian tersebut belum terlihat adanya tujuan khusus untuk keamanan karena semua pintu akses memiliki level yang sama terhadap kartu yang digunakan (RFIDTag) sehingga tingkat keamanan cukup rentan karena dapat diakses oleh berbagai orang tanpa ada batasan level. Saat ini sistem pengamanan merupakan salah satu kebutuhan utama bagi tempat usaha, tempat tinggal maupun perkantoran. Modus pencurian pada rumah, kantor maupun tempat usaha biasanya menggunakan kunci palsu dan atau pembobolan pada pintu. Maraknya tindak kejahatan ini membuat sejumlah orang menggunakan sistem keamanan berupa CCTV kamera, alarm pintu dan lain sebagainya.

Berdasarkan uraian di atas maka dapat dilihat adanya peluang untuk membangun suatu sistem yang menggunakan teknologi RFID untuk menentukan hak akses ruangan pada gedung perkantoran ataupun gedung lain, dan pembuatan

Standard Operation Procedure (SOP) khusus untuk pengoperasian sistem keamanan pintu berbasis RFID ini. Untuk meningkatkan faktor keamanan perlu dipertimbangkan adanya pembedaan akses multi-level dari setiap pengguna gedung, dimana setiap ruangan di gedung memiliki peruntukkan yang berbeda seperti level umum, level karyawan, level pimpinan dan lainnya. Seiring dengan hal ini, orang yang mengakses pintu atau gedung juga berbeda seperti karyawan, pimpinan, tamu, satuan pengamanan, petugas kebersihan, dan lainnya. Dengan keadaan di atas, maka dianggap perlu untuk melakukan penelitian yang memanfaatkan teknologi *RFID* sebagai alat bantu pada sistem keamanan gedung perkantoran ataupun gedung lain dengan mengembangkan algoritma khusus untuk penentuan hak akses pintu-pintu ruangan sesuai dengan level yang ada demi meningkatkan faktor keamanan dan aktivitas di gedung perkantoran ataupun gedung lain. Disamping itu pula perlu adanya pembuatan SOP untuk sistem ini. Dengan adanya sistem ini maka diharapkan proses pengamanan pada gedung khususnya pintu-pintu akses di perkantoran dapat selalu termonitor karena semua histori kapan dan oleh siapa pintu dibuka dan ditutup terekam dalam *database* pada sistem berbasis *client-server* ini.

1.2 Tinjauan Pustaka

Bagian ini membahas teori-teori yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan, yaitu:

A. RFID (*Radio Frequency Identification System*)

RFID adalah teknologi untuk mengidentifikasi dan mengendalikan data dari jarak jauh menggunakan transmisi gelombang radio. RFID menggunakan sarana *transponder* atau *RFIDtag* untuk menyimpan dan mengambil data dari jarak jauh. *RFIDtag* mirip dengan penggunaan *bar code* yang melekat pada sebuah objek yang menyimpan identifikasi data objek. Antena adalah salah satu komponen penting pada *RFID tag* yang digunakan untuk mengirim dan menangkap sinyal informasi yang dipancarkan antena menggunakan gelombang radio (Wiley, 2010; Yuwono, 2014).

Tag RFID adalah alat yang berisi data pengenalan (ID) yang dipasang pada objek. Sedangkan *RFID Reader* berfungsi untuk membaca data pengenalan (ID) yang ada dalam *Tag* RFID. *Tag* RFID juga bisa diletakkan dalam kartu elektronik, diletakkan pada hewan-hewan peliharaan untuk mengidentifikasi, peralatan rumah tangga, dan lain-lain. Saat ini sedang berkembang teknologi IoT sehingga penggunaan RFID akan sangat berperan (Santoso, 2015).

Meskipun RFID cukup populer saat ini karena kelebihannya namun terdapat juga kekurangan dari alat tersebut (Oipall, 2016), sebagai berikut:

a. Kelebihan

- Data yang dapat ditampung lebih banyak daripada alat bantu lainnya (kurang lebih 2000 byte)
- Ukuran sangat kecil (untuk jenis pasif RFID) sehingga mudah ditanamkan dimana-mana
- Bentuk dan desain yang fleksibel sehingga sangat mudah untuk dipakai di berbagai tempat dan kegunaan karena *chip* RFID dapat dibuat dari tinta khusus
- Pembacaan informasi sangat mudah, karena bentuk dan bidang tidak mempengaruhi pembacaan, seperti sering terjadi pada *barcode*, magnetik dll.
- Jarak pembacaan yang fleksibel bergantung pada antena dan jenis *chip* RFID yang digunakan, seperti contoh *autopayment* pada jalan tol, penghitungan stok pada ban berjalan, *access gate*.
- Kecepatan dalam pembacaan data.

b. Kekurangan

- Akan terjadi kekacauan informasi jika terdapat lebih daripada 1 *chip* RFID melalui 1 alat pembaca secara bersamaan, karena akan terjadinya tabrakan informasi yang diterima oleh pembaca. Namun kendala ini dapat diselesaikan, tergantung kecepatan penerimaan data sehingga *chip* RFID yang masuk belakangan akan dianggap sebagai data yang berikutnya)
- Jika terdapat frekuensi yang *overlap* dapat memberikan informasi yang salah pada komputer/pengolah data sehingga tingkat akurasi akan berkurang
- Gangguan akan terjadi jika terdapat frekuensi lain yang dipancarkan oleh peralatan lainnya yang bukan diperuntukkan untuk RFID, sehingga *chip* akan merespons frekuensi tersebut

B. DBMS

Sebuah *Database Management System* (DBMS) adalah perangkat lunak yang memfasilitasi pengguna untuk merancang, mengakses dan memanipulasi basis data. Sebuah DBMS mampu mengelola, berbagi, koleksi persisten data yang besar sambil memastikan keandalan dan privasi. Basis data adalah kumpulan data atau informasi terkait. Sebuah sistem manajemen *database* relasional seperti Microsoft Access yang memungkinkan pembagian data ke dalam tabel yang berbeda dengan maksud untuk menyimpannya secara independen. Setelah itu, data tersebut dapat dihubungkan satu dengan yang lain untuk dimanipulasi seperti pelanggan atau beberapa pesanan pelanggan. DBMS

memfasilitasi pengguna untuk menyimpan, *update*, dan mengambil data, serta memberikan akses ke data yang disimpan oleh program aplikasi. DBMS juga menyediakan mekanisme untuk menjaga integritas informasi yang disimpan, mengelola keamanan dan akses pengguna, memulihkan informasi ketika sistem gagal, dan mengakses fungsi *database* dari dalam aplikasi yang ditulis dalam bahasa generasi ketiga, generasi keempat, atau berorientasi objek (Jain, 2010).

1.3 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan, yang terdiri dari pengembangan dari sisi *hardware* dan *software* yang terurai sebagai berikut:

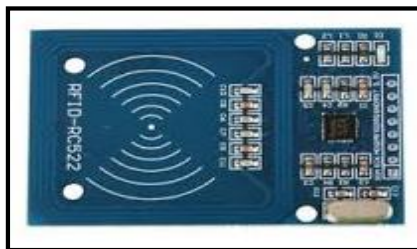
1. Tahap persiapan, pada tahap ini dilakukan pengajian pustaka, perumusan masalah, penentuan tujuan penelitian dan batasan penelitian.
2. Tahap analisis kebutuhan, dimana pada tahap ini dilakukan analisis kebutuhan apa saja yang diperlukan untuk membangun sistem ini, termasuk proses pengidentifikasian sistem yang akan dibangun. Sistem yang akan dibangun merupakan suatu sistem pengamanan pada pintu dengan menggunakan RFID (Radio Frequency Identification) sebagai sensor. Berdasarkan teori, suatu sistem memiliki tiga elemen pokok, yaitu masukan (*input*), proses (*process*) dan keluaran (*output*).
3. Tahap perancangan, dimana pada tahap ini ada dua bagian yang akan dirancang, bagian pertama berupa perangkat keras terdiri dari: Sensor RFID, Microcontroller, Ethernet adapter dan actuator. Bagian kedua berupa perangkat lunak yaitu sebuah aplikasi *client-server* berbasis *web* yang akan menyimpan semua histori aktivitas sistem termasuk implementasi algoritma penentuan hak atas akses level pengguna(multi-level).
4. Tahap Implementasi dan pengujian, pada tahap ini dilakukan implementasi sistem sekaligus pengujian cara kerja sistem dan algoritma yang dibangun pada sebuah sistem purwarupa yang mewakili 3 buah pintu dengan strata hak akses yang berbeda (umum, karyawan, pimpinan). Dan untuk pengujian akan melihat kinerja dari sensor dan actuator serta performa dari *client-server* yang dibuat, terutama dalam algoritma penentuan hak akses (verifikasi dan autentifikasi *user*).

2. PEMBAHASAN

Hasil yang telah dicapai pada penelitian ini terbagi dalam beberapa bagian seperti: hasil perancangan *hardware* RFID itu sendiri, komunikasi data antara *hardware* dan *software*, hasil antarmuka perangkat lunak, dan hasil integrasi dari sistem secara keseluruhan. Berikut penjelasan dari hasil desain dan implementasi dari sistem keamanan ini, yang dibagi ke dalam beberapa topik pembahasan.

A. Perangkat keras

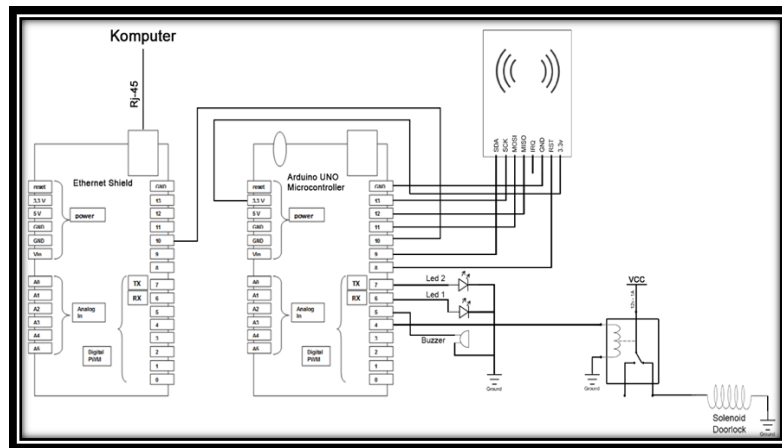
Sesuai dengan pertimbangan desain maka perangkat keras utama yang dibangun terdiri dari bagian *input* berupa sensor RFID dimana pada penelitian ini digunakan RFID *Reader* dengan frekuensi kerja pada gelombang 13,56 MHz, sesuai dengan izin penggunaan frekuensi di Indonesia. Perangkat ini merupakan pembaca RFID*Tag* yang dapat membaca berbagai jenis RFID*tag* seperti pada gambar 1 berikut:



Gambar 1. RFID reader dan RFIDtag (ebay.com 2018)

Adapun jarak baca antara RFID *Reader* terhadap RFID*Tag* berada pada jarak 0 sampai dengan 10 centimeter karena bersifat pasif, dan posisi RFID *reader* ini diletakkan di sekitar pintu akses yang akan digunakan.

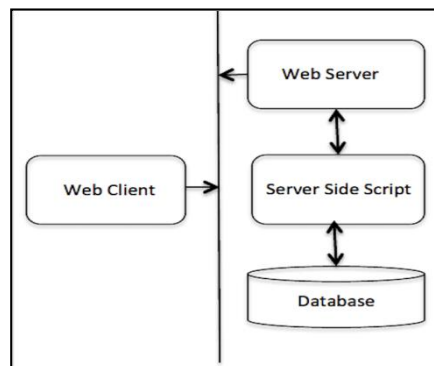
Sebagai perangkat pendukung digunakan mikrokontroler untuk memproses hasil pembacaan dan juga sebagai pengirim data ke server atau perangkat lunak dimana data dan proses seleksi, verifikasi dan otentifikasi diproses oleh perangkat lunak yang bertindak sebagai server. Koneksi perangkat keras dapat dilihat pada gambar 2. Data dikirim melalui jaringan yang bersifat lokal dengan bantuan modul Ethernet.



Gambar 2. Koneksi perangkat keras

B. Komunikasi data

Sebagai media komunikasi antara sensor RFID dan perangkat lunak yang dibuat, direalisasikan dengan memanfaatkan protokol HTTP dimana semua perangkat keras dalam hal ini RFID sensor bertindak sebagai *client* dan perangkat lunak yang dibangun bertindak sebagai *web server* serta menyimpan data transaksi (*database*), proses transaksi data pada sistem ini dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Alur Data HTTP Protocol

C. SOP dan Pengembangan Perangkat lunak

Perangkat lunak yang dibuat pada penelitian ini adalah perangkat lunak yang nantinya akan menerima hasil pembacaan sensor RFID dan mengolah masukan tersebut sesuai dengan aturan-aturan yang dibuat dan yang tentunya mengacu pada *Standard Operation Procedure* (SOP) tentang keamanan pintu dan hak akses gedung, dimana SOP ini disusun dari hasil wawancara dan pengamatan peneliti terkait sistem keamanan pada bangunan kantor yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Pegawai/Karyawan melakukan pengisian data pada halaman *input* data dan mendapatkan ID khusus yang terasosiasi dengan kartu pegawai bersangkutan.
2. Pegawai/Karyawan dapat mengakses pintu-pintu yang ada di kantor dengan kartu yang ada. Aktivitas ini sekaligus merekam kehadiran pegawai yang bersangkutan.
3. Satu kartu ID hanya menggunakan satu nama pengguna dengan maksimal satu *RFID Tag*.
4. Kartu yang sudah aktif dapat digunakan untuk mengakses pintu-pintu dengan level akses yang berbeda sesuai pangkat dan jabatan pegawai bersangkutan.
5. Setiap pintu memiliki lampu penanda level akses dan validasi akses
6. Setiap kartu ID memiliki masa aktif. Sebelum masa aktif habis, silahkan melakukan perpanjangan.
7. Pengguna yang tidak melakukan perpanjangan dianggap tidak aktif/ilegal dan tidak dapat mengakses pintu.

8. Setiap aktivitas pemindaian pada pintu-pintu akan tersimpan pada sistem.

Tabel Pengguna						
Show 10 entries		Search:				
No	Nama Pengguna	NIP	Kelamin	R F I D	Jabatan	Tanggal Daftar
1	Debby Paseru	0930097303	Pr	9975341	Dosen	2016-10-18 17:36:40
2	Pinrolinvic DK Manembu	198002282012121002	La	22921122182	Dosen	2016-10-17 08:46:17
3	Feisy Diane Kambey	198201192006042004	Pr	99182966	Dosen	2016-10-19 11:46:47
Showing 1 to 3 of 3 entries				Previous	1	Next

Gambar 4. Tampilan daftar pengguna

Pada gambar 4 dapat dilihat jumlah pengguna yang terdaftar dalam sistem ini, termasuk ada kolom jabatan yang nantinya akan digunakan sebagai penentuan hak akses atau level akses pengguna tersebut terhadap ruangan yang berhak dia masuki atau kunjungi. Fitur lain berupa informasi tanggal pendaftaran pengguna, sementara status masa aktif pengguna adalah langsung aktif saat didaftarkan dan berlaku 1 tahun ke depan atau 365 hari.

Tabel REKAPITULASI Aktivitas

Show10entries

Search:

No	Nama Pegawai	NIP	ID RFID	Status	Waktu Access
1	Pinrolinvic DK Manembu	198002282012121002	22921122182	Master	2016-10-19 14:34:51
2	Pinrolinvic DK Manembu	198002282012121002	22921122182	Master	2016-10-19 14:34:54
3	Feisy Diane Kambey	198201192006042004	99182966	Valid	2016-10-19 14:35:16
4	Feisy Diane Kambey	198201192006042004	99182966	Valid	2016-10-19 14:35:19
5	Debby Paseru	0930097303	9975341	Valid	2016-10-19 14:35:36
6	Debby Paseru	0930097303	9975341	Valid	2016-10-19 14:35:39
7	Debby Paseru	0930097303	9975341	Valid	2016-10-19 15:50:36
8	Debby Paseru	0930097303	9975341	Valid	2016-10-19

Gambar 5. Histori Pengguna

Gambar 5 di atas merupakan hasil perekaman data/histori data dari pengguna yang sukses melakukan pembukaan pintu-pintu akses, dimana kita dapat melihat kapan si pengguna memasuki ruangan menurut tanggal dan jam yang tertera pada kolom waktu akses. Dengan demikian dari data ini kita juga dapat melihat kehadiran/presensi pengguna atau sebagai data pembandingan kehadiran dan aktivitas pengguna di kantor. Data ini dapat digunakan sebagai parameter pengukuran kinerja karyawan.

D. Integrasi sistem

Keseluruhan perangkat yang dibuat baik *software* dan *hardware* diintegrasikan sehingga menjadi satu sistem. Dari beberapa pengujian pada sistem keseluruhan dimana diterapkan 3 buah pintu untuk simulasi, dapat dikatakan bahwa

seluruh proses verifikasi dan otentifikasi dapat berjalan dengan baik. Sistem ini dapat merekam seluruh aktivitas pintu-pintu akses dengan baik termasuk merekam aksi percobaan dengan menggunakan kartu yang belum terdaftar sehingga dapat dikategorikan sebagai pengakses ilegal, seperti yang terlihat pada gambar 6.

Pemilihan protokol HTTP sebagai media transaksi data antara RFID Sensor yang bertindak sebagai *client* dengan perangkat lunak berbasis *web* sebagai server dapat bekerja dengan baik dengan waktu tunggu rata-rata untuk setiap *request* akses pintu yang valid sekitar 2000 mili-detik untuk semua proses termasuk verifikasi dan otentifikasi. Hal ini masih memenuhi standart kriteria sistem dimana waktu maksimal respons dari *request* oleh *client* adalah 5000 mili-detik, sehingga jika melebihi waktu tersebut, *client* diminta untuk melakukan pemindaian kembali.

Tabel Histori Input Sensor

Show 10 entries Search:

No^	IP Address^	ID Scanner^	ID RFID ^	Status Kartu^	Waktu Access ^
1	::1	1	22921122182	Master	2016-10-19 14:34:51
2	::1	1	22921122182	Master	2016-10-19 14:34:54
3	::1	1	99182966	Valid	2016-10-19 14:35:16
4	::1	1	99182966	Valid	2016-10-19 14:35:19
5	::1	1	9975341	Valid	2016-10-19 14:35:36
6	::1	1	9975341	Valid	2016-10-19 14:35:39
7	::1	1	997534112	Illegal	2016-10-19 14:35:59
8	::1	1	9975341123	Illegal	2016-10-19 14:36:05
9	192.168.1.34	SRF01	9975341	Valid	2016-10-19 15:50:36
10	192.168.1.34	SRF01	9975341	Valid	2016-10-19 15:50:42

Showing 1 to 10 of 66 entries

Previous 1 2 3 4 5 6 7 Next

Gambar 6. Histori bacaan sensor

E. Algoritma akses multi-level

Perangkat lunak yang dibangun ini memiliki fungsi utama untuk melakukan verifikasi dan otentifikasi pengguna yang akan mendapat hak membuka pintu, sesuai dengan hak akses masing-masing pengguna (tabel 1). Terlihat pada tabel 1 bahwa terdapat 3 level untuk hak akses pada semua pintu yang ada, dimana untuk level 1 memiliki hak akses penuh dan dapat membuka semua pintu, *user* seperti ini biasanya untuk pimpinan dan atau kepala keamanan. Level 2 untuk hak akses karyawan yang bisa mengakses pintu utama dan pintu ruang kerja bersangkutan, sedangkan level 3 adalah hak akses untuk tamu, yang hanya bisa mengakses pintu utama gedung.

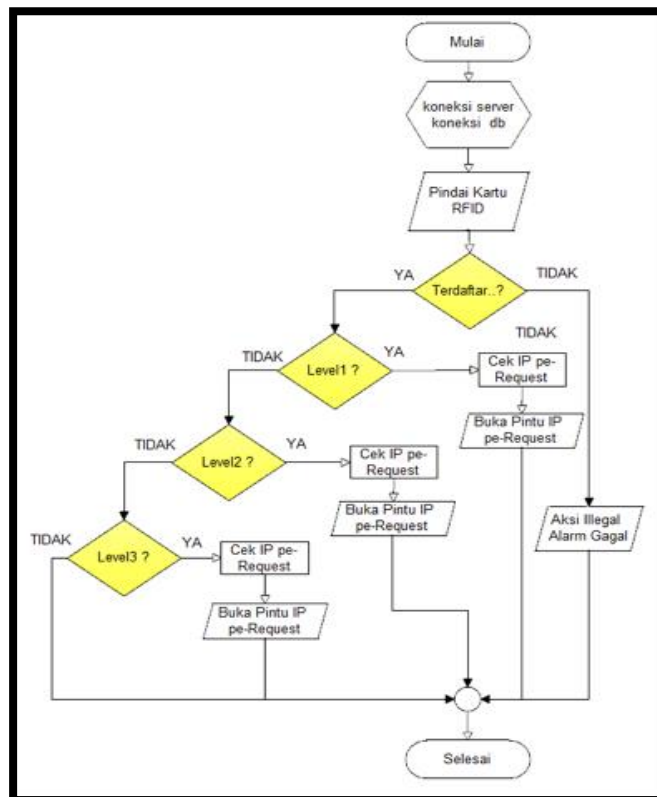
Tabel 1: Pembagian Akses Level

Akses Level	Hak Akses
Level 1	Pintu Utama(umum), Pintu Tengah,(sub-bagian), Pintu Pimpinan
Level 2	Pintu Utama, Pintu Tengah
Level 3	Pintu Utama

Algoritma yang digunakan untuk menentukan hak akses setiap pintu yang ada, dapat dilihat pada gambar 7 dimana ada sistem pengecekan bertingkat yang diproses pada sisi server untuk menentukan seorang *user* bisa atau tidak mendapatkan garansi untuk membuka pintu sesuai *request* yang diminta saat *user* tersebut mendekatkan kartunya pada pintu yang bersesuaian. Misalnya seorang pimpinan akan mendapatkan garansi untuk semua pintu yang *direquestnya*, dalam arti pimpinan berhak masuk kesemua ruangan yang ada di gedung. Sedangkan jika seorang *user* hanya mendapatkan hak akses level 3, maka *user* tersebut hanya mendapat garansi pada pintu utama dalam arti *user*

tersebut tidak bisa masuk keruang kerja karyawan karena levelnya tidak akan mendapat garansi untuk membuka pintu-pintu di level karyawan (level 2).

Proses penentuan otentifikasi ini sedikit rumit karna server yang di dalamnya ada algoritma akses multi-level, harus mampu mendeterminasi terlebih dahulu pintu mana yang melakukan *request*, kemudian mengekstrak data (ID) dari yang *merequest* berdasarkan hasil bacaan RFID yang kemudian akan dicocokkan dengan data yang ada pada *database* untuk menentukan hak akses apa yang dimiliki yang *merequest*. Jika cocok maka server akan mengirimkan perintah kepada *client* yang dalam hal ini adalah pintu untuk dapat dibuka (memberikan garansi) dan server juga harus mampu memberikan garansi pada pintu yang tepat, yang bersesuaian dengan pintu tempat yang *merequest* mendekatkan kartunya. Jadi 2 tugas utama server adalah menentukan hak akses *user* dan menentukan pintu yang akan dibuka.



Gambar 7. Flowchart algoritma akses multi-level

3. KESIMPULAN

Implementasi perangkat keras dan perangkat lunak dapat berfungsi dengan baik pada sistem akses multi-level ini, dimana komunikasi data melalui protokol HTTP dapat berjalan sesuai standart yang ditentukan dan waktu tunggu terhadap *request* yang diberikan masih memenuhi kriteria system. Algoritma akses multi-level yang diterapkan dapat berfungsi dengan baik dimana algoritma dapat memberikan garansi pada pintu yang bersesuaian dengan hak akses *user*. Kemudian telah dibuat juga SOP khusus untuk pengoperasian sistem keamanan multi-level ini berdasarkan hasil wawancara dengan *user* dan survey di beberapa kantor dan instansi.

Untuk meningkatkan performa dari sistem ini, maka perlu dilakukan beberapa perbaikan dengan penambahan fitur alarm pada perangkat keras.

PUSTAKA

- Yuwono R., 2014, "Design of Circular Patch Microstrip Antenna with Egg Slot for 2.4 GHz Ultra-Wideband Radio Frequency Identification (UWB RFID) Tag Applications", *Jurnal Internasional Applied Mechanics and Materials*, Vol. 513-517.
- Alp U, Mehmet T., 2009, "The Impact of RFID Technology on Supply Chain Costs", Pergamon Publisher (hlm 29-38).
- Iwan .V., Shaharoun A., 2011, "The Comprehensive Framework for RFID Justification in Healthcare", *Medwell Journal*, Vol 5, issue 2, hlm 76-84.
- Eridani, D., Chrityono, Y., Santoso, I., 2011, "Simulasi Gerbang Tol Menggunakan RFID", *Transmisi ejournal UNDIP*, Vol 12, no 2.
- Siahaan, C. P. M. S., & Fakhruddin R. B. 2014. Perancangan Sistem Pembayaran Biaya Parkir Secara Otomatis Menggunakan RFID (Radio Frequency Identification). *Jurnal SINGUDA ENSIKOM* vol 9 no. 3 Desember 2014.
- Beny, N, dkk. 2015. Perancangan Dan Pengujian Miniatur Lift Berbasis Arduino Dengan Menggunakan RFID Sebagai Sistem Identifikasi Lantai. *SINERGI*, Vol. 19, No. 3, hal. 211-216.
- Manembu, P., 2015, "Sistem Pengamanan Pintu Jamak dengan RFID Sensor Berbasis Web", *Jurnal Elektro* vol 8. no.2 page 79-86. Unika Atma Jaya, Jakarta.
- Wiley, J. 2010. *RFID Handbook*. United Kingdom : John Wiley and Sons.
- Oipall. 2016. Sistem Komunikasi RFID (Radio Frequency Identification). Tersedia di: <http://oipall.blog.st3telkom.ac.id/2016/01/04/21/> [diakses 1 Juli 2018].
- Santoso, H. 2015. *Pengertian RFID dan Aplikasinya : Case RFID Reader MLF8112WA*. Tersedia di : <http://www.elangsakti.com/2015/09/pengertian-rfid-adalah.html>. [Diakses 17 Mei 2018]
- Jain, S., 2010. *A Level Made Simple-intro to Database Management System (A7-R4)*. India: BPB Publications.
- Jain, R. 2010. *Database Management System Concepts*. New Delhi : V.K Publications

REKOMENDASI MAKANAN DENGAN PENDEKATAN TECHNIQUE FOR ORDER PERFORMANCE BY SIMILARITY TO IDEAL SOLUTION (TOPSIS)

Robertus Adi Nugroho¹

Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta
robertus.adi@usd.ac.id

ABSTRAK

Saat ini data dan informasi dalam format digital tersedia cukup banyak di internet. Hal ini tentu saja menyebabkan munculnya permasalahan dalam pencarian data. Apalagi jika proses pencarian data atau informasi melibatkan kriteria – kriteria tertentu. Seperti halnya pencarian informasi mengenai menu makanan. Banyaknya informasi mengenai menu makanan yang tersebar di pelbagai restoran sering kali menyulitkan seseorang untuk memilih menu makanan yang tepat. Penelitian ini mencoba mencari solusi atas permasalahan itu dengan menerapkan metode *Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)*. Metode ini cukup populer untuk menyelesaikan permasalahan pemilihan keputusan yang melibatkan banyak kriteria. Di pelbagai bidang seperti kesehatan, e-commerce, peternakan, media sosial, dan penanggulangan bencana menerapkan metode TOPSIS untuk mencari solusi terbaik. Beberapa kriteria seperti kalori, harga, dan jarak digunakan untuk memilih menu makanan pada penelitian ini. Dari hasil pengujian, terlihat bahwa metode TOPSIS mampu memberikan pilihan terbaik sesuai dengan preferensi kriteria pemilihan menu makanan penggunaannya.

Kata Kunci: sistem rekomendasi, menu makanan, TOPSIS, multi-criteria

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era informasi ini, data atau informasi tersedia begitu banyak di dunia maya. Hal ini juga terjadi pada informasi mengenai menu makanan di pelbagai restoran. Sistem rekomendasi dihadirkan untuk membantu pengguna dalam memilih informasi. Dengan sistem rekomendasi, hanya informasi yang benar – benar dibutuhkan saja yang diberikan pada pengguna. Sistem rekomendasi mampu memprediksi produk – produk atau layanan – layanan yang sesuai dengan preferensi pengguna (Ricci dkk., 2011). Sistem rekomendasi bisa saja memprediksi kebutuhan pengguna dari satu aspek saja. Akan tetapi, sering kali keputusan yang dibuat oleh pengguna dipengaruhi oleh beberapa aspek (Adomavicius dkk., 2011). Salah satu contohnya adalah pemilihan menu makanan ketika seseorang ingin makan baik sendiri atau bersama dengan teman atau keluarga. Memilih menu makanan dan restorannya bisa dipengaruhi oleh beberapa kriteria seperti kesehatan (kalori), harga, atau jarak restoran yang akan dituju. Oleh karena itu, sistem rekomendasi menu makanan harus mampu mengakomodasi banyaknya alternatif pilihan menu makanan yang ada dan juga mampu memperhatikan beberapa kriteria pemilihan yang digunakan. Pendekatan *Collaborative Filtering* dan *Content Based Filtering* merupakan pendekatan yang populer dalam sistem rekomendasi (Ricci dkk., 2011). Akan tetapi, kedua pendekatan tersebut mengabaikan adanya kriteria pemilihan alternatif. Hal ini tentu saja menyebabkan kedua pendekatan itu tidak dapat digunakan di dalam proses rekomendasi yang harus mempertimbangkan beberapa kriteria pemilihan. Pendekatan sistem rekomendasi yang tepat untuk menyelesaikan masalah ini adalah *multi-criteria decision making (MCDM)* (Adomavicius dkk., 2011). Salah satu metode MCDM yang mampu menyelesaikan masalah ini adalah *Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)* (Ching-Lai Hwang, 1981). Karena keunggulannya, metode TOPSIS ini banyak digunakan di pelbagai penelitian.

Beberapa penelitian di berbagai bidang menggunakan metode TOPSIS untuk menyelesaikan masalah yang ada dan hasilnya memuaskan. Sistem cerdas di bidang peternakan untuk memilih kambing yang tepat untuk dikonsumsi pernah dilakukan pada tahun 2017 (Budianto & Yunus, 2017). Di bidang manufaktur, TOPSIS banyak digunakan untuk optimasi proses manufaktur untuk mengurangi ongkos produksi dan memaksimalkan keuntungan (Shukla dkk., 2017). TOPSIS juga diterapkan pada bidang kesehatan untuk membantu pemilihan layanan kesehatan yang tepat (Harja & Sarno, 2018). Di bidang e-commerce, TOPSIS digunakan untuk menentukan relasi pertemanan di sosial media yang tepat untuk dijadikan referensi pembelian produk (Xiang dkk., 2018). Begitu juga dalam bidang kemanusiaan, TOPSIS digunakan untuk mengevaluasi daerah terdampak banjir sehingga dapat diketahui daerah yang paling terdampak banjir dan perlu penanganan lebih (Yang dkk., 2018).

Pada penelitian ini, penulis menerapkan metode TOPSIS untuk membantu wisatawan dalam mencari menu makanan yang sesuai dengan kebutuhan. Menu makanan diambil dari tiap restoran yang cukup terkenal di Yogyakarta dan menu yang diambil merupakan menu utama di restoran itu. Dataset ini juga pernah dipakai pada

penelitian sebelumnya (Nugroho & Ferdiana, 2014). Diharapkan penelitian ini dapat memberi ide penelitian selanjutnya mengenai penerapan metode TOPSIS dalam memberikan rekomendasi menu makanan.

1.2 Kajian Pustaka

TOPSIS digunakan pada sistem cerdas di bidang peternakan untuk membantu manusia dalam memilih kambing yang tepat untuk dikonsumsi (Budianto & Yunus, 2017). Sistem cerdas ini diharapkan mampu untuk mengoptimisasi pemilihan kambing terbaik untuk dikonsumsi. Sistem cerdas ini memfasilitasi konsumen dalam memilih kambing sesuai dengan kebutuhannya. Pemilihan metode TOPSIS untuk menyelesaikan masalah ini disebabkan karena pemilihan kambing untuk dikonsumsi bukanlah hal yang mudah, banyak kriteria yang diperhatikan, seperti kondisi fisik dan kesehatan, untuk menentukan kesesuaian antara pilihan kambing yang ada dengan kebutuhan dari konsumen. Hasil penelitian mengatakan bahwa TOPSIS memberikan rekomendasi yang memudahkan konsumen dalam memilih kambing yang tepat.

Metode TOPSIS juga dimanfaatkan di pelbagai bidang manufaktur (Shukla dkk., 2017). Pada penelitian ini TOPSIS digunakan untuk mengoptimisasi pelbagai proses manufaktur yang tujuan utamanya adalah mengurangi ongkos produksi dan memaksimalkan keuntungan perusahaan. Shukla dkk. mencoba menunjukkan bahwa TOPSIS mampu mengoptimisasi proses – proses yang terjadi pada mesin *Milling, Drilling, Turning, Electric Discharge Machining*, dan lain – lain. TOPSIS menunjukkan keunggulannya pada aspek komputasi yang ringan tetapi dengan kualitas hasil yang baik.

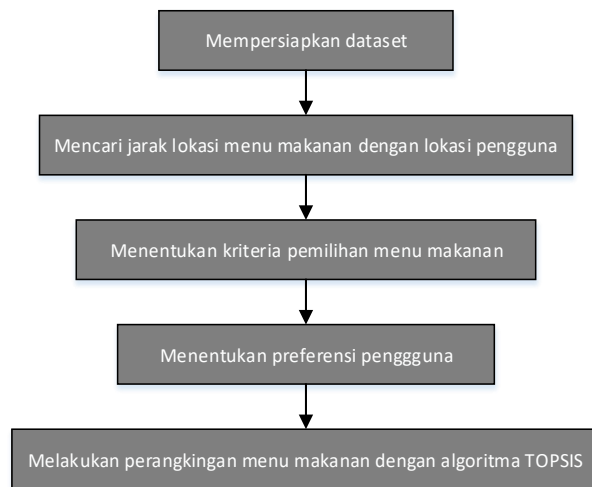
Di bidang kesehatan, TOPSIS digunakan untuk membantu memilih layanan kesehatan terbaik dan terdekat (Harja & Sarno, 2018). Harja dkk. melihat bahwa ketika seseorang sedang sakit, orang tersebut sering kali tidak dapat berpikir dengan jernih. Oleh karena itu, Harja dkk. mencoba membuat sebuah sistem yang dapat membantu untuk memilih layanan kesehatan terbaik dan terdekat. Metode TOPSIS digunakan dalam sistem ini. Beberapa kriteria yang digunakan dalam sistem ini adalah lokasi, *travel distance*, dan *travel time*. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa layanan kesehatan yang direkomendasikan relevan dengan kebutuhan penggunaanya.

TOPSIS juga digunakan untuk mengukur kekuatan relasi pertemanan antar pengguna media sosial (Xiang dkk., 2018). Keputusan pembelian sebuah produk sering kali dipengaruhi oleh komentar, *online rating* yang diberikan oleh teman. Akan tetapi, banyaknya teman yang dimiliki sering kali membuat pengambilan keputusan menjadi sulit. Pengguna kesulitan memilih komentar mana yang paling sesuai dengan kebutuhan pengguna dan paling dapat mempengaruhi pengambilan keputusan. Bobot dari setiap komentar tersebut tentu saja berbeda. Oleh karena itu, penting bagi Xiang dkk. untuk menentukan kekuatan sebuah informasi dalam meningkatkan keakuratan dan efisiensi dalam pengambilan keputusan.

Dalam bidang penanggulangan bencana alam, metode TOPSIS dapat digunakan dalam proses evaluasi daerah terdampak banjir (Yang dkk., 2018). Dengan menggunakan TOPSIS, Yang dkk. mengevaluasi beberapa daerah dengan beberapa kriteria seperti *maximum flood velocity, water level, population density, economic sensitivity, agricultural sensitivity*, dan *adaptive capacity*. Hasilnya, dapat diketahui daerah yang paling terdampak banjir sampai daerah yang mengalami kerusakan ringan.

1.3 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap, antara lain (1) mempersiapkan dataset, (2) mencari jarak setiap menu makanan dengan sebuah titik lokasi (posisi latitude dan longitude pengguna), (3) menentukan kriteria pemilihan menu makanan, (4) menentukan preferensi pengguna, (5) melakukan perankingan menu makanan dengan algoritma TOPSIS.



Gambar 1. Metodologi Penelitian

Dataset yang dipersiapkan dapat dilihat ada Tabel 1. Pada dataset terlihat bahwa posisi menu makanan direpresentasikan dengan atribut latitude dan longitude. Pada penelitian ini nilai yang akan dievaluasi adalah jarak menu makanan ke posisi pengguna. Oleh karena itu, diperlukan proses perhitungan jarak antara posisi menu makanan ke posisi pengguna. Perhitungan jarak ini menggunakan fasilitas online (<http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>). Setiap pengguna mempunyai beberapa kriteria pemilihan menu makanan. Dalam penelitian ini, digunakan tiga kriteria yaitu besar kalori, harga makanan, dan jarak lokasi menu makanan ke pengguna. Preferensi pengguna adalah bobot kepentingan pengguna terhadap setiap kriteria pemilihan menu makanan. Preferensi pengguna ini dinyatakan dalam persen. Semakin besar persentasenya berarti semakin penting kriteria tersebut dalam mempengaruhi keputusan pemilihan menu makanan. Ketentuannya adalah total persentase dari preferensi pengguna ini adalah 100%. Proses perankingan menu makanan yang sesuai dengan preferensi pengguna mengikuti tahapan dalam algoritma TOPSIS.

1.4 Dataset

Data penelitian ini adalah menu makanan yang tersebar di pelbagai restoran di kota Yogyakarta. Ada 41 jenis menu makanan. Atribut yang digunakan ada tiga yakni besar kalori, harga, dan posisi (*latitude, longitude*).

Tabel 1. Dataset Menu Makanan

No	Menu Makanan	Kalori	Harga	Posisi	
				Latitude	Longitude
1	Nasi Gudeg Yu Djum	307	15000	-7.806017	110.3565
2	Bakmi Jawa Mbah Hadi	321	12500	-7.782461	110.3719
3	Tonseng Ayam Sidomoro	337	7500	-7.885217	110.3307
4	Udang Bakar Madu Mang Engking	266	69000	-7.790457	110.347
5	Sate Ayam Samirono	236	20000	-7.777371	110.3842
6	Bakmi Jawa Kadin	321	17000	-7.803051	110.3724
7	Soto Ayam Kadipiro	425	10000	-7.800869	110.3453
8	Bebek Goreng H Slamet	349	20000	-7.750355	110.3643
9	Gado - gado Bu Ning	488	10000	-7.804641	110.3775
10	Sate Buntel Tambak Segaran	516	15000	-7.810053	110.3688
11	Tongseng Jamur Jejamuran Resto	365	10000	-7.700456	110.3696
12	Nasi Uduk Palagan	506	12000	-7.781106	110.4083
13	Sate Klathak Pak Pong	514	12000	-7.890572	110.3859
14	Ayam Goreng Mbok Sabar	373	9500	-7.79893	110.3707
15	Mie Ayam Bakso Ojo Lali	580	12500	-7.79987	110.332
16	Soto Ayam Kampung Dalbe	500	6000	-7.782677	110.3733
17	Mangut Lele Bu Is	352	12000	-7.843237	110.3738
18	Sego Gudeg Mangut Lele Nggeneng	471	12000	-7.854254	110.3544
19	Nasi Gudeg Manggar Ibu Jumilan	344	13000	-7.932617	110.264
20	Nasi Gudeg Ayam Pawon	402	18000	-7.805631	110.3901

21	Sate Kambing Godril	515	24000	-7.778085	110.335
22	Nasi Brongkos Handayani	300	7500	-7.812641	110.363
23	Nasi Goreng Sapi Kridosono	362	12500	-7.786738	110.3734
24	Mie Aceh Bungong Jeumpa	291	15000	-7.762668	110.3796
25	Iga Bakar Jakal	372	41000	-7.760949	110.3804
26	Nasi Soto Suroboyo	447	9000	-7.753913	110.3837
27	Nasi Ayam Kadesa Racik Desa	385	14000	-7.752557	110.3843
28	Kupat Tahu Bakso Lombok Uleg	419	10000	-7.781548	110.3511
29	Mie Ayam Mas Yudi	421	8500	-7.781417	110.379
30	Ayam Goreng Penyet Xtra Hot	395	11500	-7.78293	110.3571
31	Tenderloin Warung Steak	403	15000	-7.777459	110.3839
32	Nasi Rendang Sederhana	555	16000	-7.757275	110.3824
33	Nasi Goreng Mafia	321	15000	-7.760933	110.3808
34	Beef Stroganoff Sepiring	322	47000	-7.762779	110.38
35	Nasi Gudeg Ceker Gejayan	479	8500	-7.761892	110.3938
36	Nasi Pecel Bu Tien	464	8500	-7.761161	110.394
37	Aburi Salmon Roll Sushi Tei	304	70000	-7.778902	110.3886
38	Ayam Goreng Tohjoyo	390	10000	-7.78296	110.3872
39	Lotek Tetek Sepur Lempuyangan	448	13000	-7.789928	110.3799
40	Nasi Merah Pecel Solo	412	21000	-7.742477	110.3743
41	Nasi Gudeg Ayam Sagan	409	12000	-7.777957	110.3797

1.5 Algoritma TOPSIS

Algoritma TOPSIS merupakan algoritma yang digunakan untuk melakukan perbandingan beberapa alternative pilihan dengan memperhitungkan jarak terpendek dari solusi ideal positif dan jarak terjauh dari solusi ideal negatif.

Berikut ini adalah tahapan – tahapan dari algoritma TOPSIS yang digunakan (Yang dkk., 2018):

1. Membuat matrix keputusan berdasarkan data – data yang dikumpulkan.

Matrix keputusan yang dibuat adalah seperti di bawah ini:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dimana n merupakan bayangknya kriteria pemilihan, sedangkan m merupakan banyaknya alternatif pilihan yang ada.

2. Lakukan normalisasi matrix keputusan

Matrix normalisasi dihasilkan dari formula berikut ini:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (2)$$

3. Lakukan pembobotan matrix keputusan yang sudah ternormalisasi

$$z_{ij} = r_{ij} * w_j \quad (3)$$

Dimana w_j merupakan bobot tiap kriteria pemilihan.

4. Tentukan solusi ideal negatif dan solusi ideal positif.

Solusi ideal negatif dari tiap kriteria adalah:

Jika atribut menguntungkan (*benefit*) maka

$$z_j^- = \min(z_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, m). \quad (4)$$

Jika atribut merugikan (*cost*) maka

$$z_j^- = \max(z_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, m). \quad (5)$$

Sedangkan solusi ideal positif dari tiap kriteria adalah:

Jika atribut menguntungkan (*benefit*) maka

$$z_j^+ = \max(z_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (6)$$

Jika atribut merugikan (*cost*) maka

$$z_j^+ = \min(z_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (7)$$

5. Hitung jarak setiap alternative terhadap solusi ideal positif dan negative

Jarak terhadap solusi ideal positif, D_i^+ , dinyatakan sebagai berikut:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_j^+)^2} \text{ dimana } i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (8)$$

Jarak terhadap solusi ideal negatif, D_i^- , dinyatakan sebagai berikut:

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_j^-)^2} \text{ dimana } i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (9)$$

6. Hitung *relative closeness* (C_i) ke solusi yang paling ideal:

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \text{ dimana } i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (10)$$

7. Lakukan perankingan C_i dari yang terbesar hingga terkecil. Nilai C_i terbesar merupakan solusi yang paling baik.

2. PEMBAHASAN

2.1 Implementasi TOPSIS

Sebelum membuat matriks keputusan pada Persamaan (1). Terlebih dahulu perlu didapatkan data jarak antara lokasi menu makanan dan lokasi pengguna berdasarkan longitude dan latitude dari masing – masing lokasi. Untuk mendapatkan jaraknya, penelitian ini memanfaatkan fasilitas perhitungan online yang disediakan oleh (<http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>). Lokasi pengguna adalah -7,80206 (*latitude*) dan 110,387891 (*longitude*). Oleh karena itu, jarak pengguna ke menu makanan Nasi Gudeg Yu Djum adalah 3,495 kilometer, jarak pengguna ke menu makana Bakmi Jawa Mbah Hadi adalah 2,794 kilometer, dan seterusnya (Tabel 2).

Tabel 2. Data Kalori, Harga, dan Jarak

No	Menu Makanan	Kalori (kkal)	Harga (Rp)	Jarak (km)
1	Nasi Gudeg Yu Djum	307	15000	3.495
2	Bakmi Jawa Mbah Hadi	321	12500	2.794
3	Tonseng Ayam Sidomoro	337	7500	11.151
4	Udang Bakar Madu Mang Engking	266	69000	4.689
5	Sate Ayam Samirono	236	20000	2.76
6	Bakmi Jawa Kadin	321	17000	1.715
7	Soto Ayam Kadipiro	425	10000	4.704
8	Bebek Goreng H Slamet	349	20000	6.283
9	Gado - gado Bu Ning	488	10000	1.182
10	Sate Buntel Tambak Segaran	516	15000	2.28
11	Tongseng Jamur Jejamuran Resto	365	10000	11.417
12	Nasi Uduk Palagan	506	12000	3.228
13	Sate Klathak Pak Pong	514	12000	9.791
14	Ayam Goreng Mbok Sabar	373	9500	1.927
15	Mie Ayam Bakso Ojo Lali	580	12500	6.17
16	Soto Ayam Kampung Dalbe	500	6000	2.684
17	Mangut Lele Bu Is	352	12000	4.812
18	Sego Gudeg Mangut Lele Nggeneng	471	12000	6.855
19	Nasi Gudeg Manggar Ibu Jumilan	344	13000	19.877

20	Nasi Gudeg Ayam Pawon	402	18000	0.465
21	Sate Kambing Godril	515	24000	6.407
22	Nasi Brongkos Handayani	300	7500	2.985
23	Nasi Goreng Sapi Kridosono	362	12500	2.329
24	Mie Aceh Bungong Jeumpa	291	15000	4.451
25	Iga Bakar Jakal	372	41000	4.621
26	Nasi Soto Suroboyo	447	9000	5.345
27	Nasi Ayam Kadesa Racik Desa	385	14000	5.489
28	Kupat Tahu Bakso Lombok Uleg	419	10000	4.652
29	Mie Ayam Mas Yudi	421	8500	2.486
30	Ayam Goreng Penyet Xtra Hot	395	11500	3.998
31	Tenderloin Warung Steak	403	15000	2.756
32	Nasi Rendang Sederhana	555	16000	4.99
33	Nasi Goreng Mafia	321	15000	4.615
34	Beef Stroganoff Sepiring	322	47000	4.43
35	Nasi Gudeg Ceker Gejayan	479	8500	4.49
36	Nasi Pecel Bu Tien	464	8500	4.574
37	Aburi Salmon Roll Sushi Tei	304	70000	2.562
38	Ayam Goreng Tohjoyo	390	10000	2.114
39	Lotek Tetek Sepur Lempuyangan	448	13000	1.604
40	Nasi Merah Pecel Solo	412	21000	6.758
41	Nasi Gudeg Ayam Sagan	409	12000	2.815

Matriks keputusan Persamaan (1) dibuat berdasarkan data yang sudah di dapat pada Table 2. Nilai n adalah banyaknya kriteria yaitu kalori, harga, dan jarak, sedangkan m adalah banyaknya alternati menu makanan yang ditawarkan. Jadi matriks keputusan X yang dapat dibuat adalah matrix 41 x 3 seperti Persamaan (11).

$$X = \begin{bmatrix} 307 & 15000 & 3,495 \\ 321 & 12500 & 2,794 \\ 337 & 7500 & 11,151 \\ \dots & \dots & \dots \\ 409 & 12000 & 2,815 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Matriks keputusan tersebut perlu dinormalisasi untuk mendapatkan matriks keputusan ternormalisasi (R). Untuk mendapatkannya, dapat digunakan Persamaan 2. Jadi nilai normalisasi untuk kalori Gudeg Yu Djum (r_{11}) adalah

$$r_{11} = \frac{x_{11}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{42} x_{i1}^2}} = \frac{307}{2611,931} = 0.117538 \quad (12)$$

Matriks R yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$R = \begin{bmatrix} 0,117538 & 0,054000 & 0,094187 \\ 0,122898 & 0,087833 & 0,075295 \\ 0,129023 & 0,052700 & 0,300508 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0,156589 & 0,084320 & 0,075861 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Pada penelitian ini bobot kriteria adalah representasi dari preferensi pengguna terhadap masing – masing kriteria pemilihan itu. Preferensi ini dinyatakan dalam persentase dan memiliki total nilai 100%. Misalnya pengguna lebih mementingkan aspek kalori makanan daripada harga dan jarak, maka nilai bobot yang bisa diberikan adalah 60%, 20%, dan 20% untuk kriteria kalori, harga, dan jarak.

Tabel 3. Bobot Kriteria

	Kalori	Harga	Jarak
Bobot	0,60	0,20	0,20

Berdasarkan Persamaan (3), dibuatlah matriks normalisasi terbobot (Z) sebagai berikut:

$$Z = \begin{bmatrix} 0,070523 & 0,021080 & 0,018837 \\ 0,073739 & 0,017567 & 0,015059 \\ 0,077414 & 0,010540 & 0,060102 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0,093953 & 0,016864 & 0,015172 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Setelah mendapatkan matriks normalisasi terbobot, solusi ideal negatif dan positif dari setiap kriteria dapat ditentukan. Untuk solusi ideal negatif kriteria kalori, perlu diperhatikan bahwa kalori adalah *cost* artinya semakin nilainya besar dianggap semakin merugikan. Oleh karena itu, solusi ideal negatif kriteria kalori dapat ditentukan melalui Persamaan (5), sedangkan solusi ideal positif kriteria kalori dapat ditentukan melalui Persamaan (7). Untuk solusi ideal negatif dan positif kriteria harga menggunakan Persamaan (5) dan Persamaan (7). Untuk solusi ideal negatif dan positif kriteria jarak menggunakan Persamaan (5) dan Persamaan (7). Persamaan yang digunakan terlihat sama untuk semua kriteria karena seluruh kriteria dikategorikan sebagai *cost* atau merugikan jika nilainya semakin besar.

Solusi ideal positif (z_1^+) dan negatif (z_1^-) untuk kalori:

$$z_1^+ = \min(z_{i1}, i = 1, 2, 3, \dots, m) = 0,054213 \quad (15)$$

$$z_1^- = \max(z_{i1}, i = 1, 2, 3, \dots, m) = 0,133235 \quad (16)$$

Solusi ideal positif (z_2^+) dan negatif (z_2^-) untuk harga:

$$z_2^+ = \min(z_{i2}, i = 1, 2, 3, \dots, m) = 0,008432 \quad (17)$$

$$z_2^- = \max(z_{i2}, i = 1, 2, 3, \dots, m) = 0,098373 \quad (18)$$

Solusi ideal positif (z_3^+) dan negative (z_3^-) untuk jarak:

$$z_3^+ = \min(z_{i3}, i = 1, 2, 3, \dots, m) = 0,002506 \quad (19)$$

$$z_3^- = \max(z_{i3}, i = 1, 2, 3, \dots, m) = 0,107133 \quad (20)$$

Dari solusi ideal positif dan negatif dari setiap kriteria, perhitungan jarak setiap alternatif ke setiap solusi ideal positif dan negatif tersebut dapat dilakukan menggunakan Persamaan (8) dan Persamaan (9). Dari persamaan (8) didapat matriks jarak ideal positif (D^+) sebagai berikut:

$$D^+ = \begin{bmatrix} 0,026319 \\ 0,024945 \\ 0,062129 \\ \dots \\ 0,042554 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Dari persamaan (9) didapat matriks jarak ideal negatif (D^+) sebagai berikut:

$$D^- = \begin{bmatrix} 0,133053 \\ 0,136188 \\ 0,114204 \\ \dots \\ 0,129010 \end{bmatrix} \quad (22)$$

Setelah didapatkan jarak setiap alternatif (menu makanan) ke solusi ideal positif dan negatif, perhitungan *relative closeness* (C_i) ke solusi yang ideal dapat menggunakan Persamaan (10) sehingga didapatkan matriks C sebagai berikut:

$$C = \begin{bmatrix} 0,834858981 \\ 0,845187866 \\ 0,647662873 \\ \dots \\ 0,751963903 \end{bmatrix} \quad (23)$$

Matriks C merepresentasikan *relative closeness* setiap menu makanan seperti yang terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. *Relative Closeness* Tiap Menu Makanan

No	Menu Makanan	Relative Closeness
1	Nasi Gudeg Yu Djum	0,834858981
2	Bakmi Jawa Mbah Hadi	0,845187866
3	Tonseng Ayam Sidomoro	0,647662873
..
41	Nasi Gudeg Ayam Sagan	0,751963903

Untuk melihat solusi yang paling ideal, perlu dilakukan perbandingan nilai *relative closeness* tiap alternatif dari nilai tertinggi hingga terendah (Tabel 5).

Tabel 5. Perbandingan *Relative Closeness*

Peringkat	Menu Makanan	Relative Closeness
1	Nasi Brongkos Handayani	0.875799
2	Sate Ayam Samirono	0.857922
3	Bakmi Jawa Mbah Hadi	0.845188
4	Bakmi Jawa Kadin	0.841172
5	Nasi Gudeg Yu Djum	0.834859
6	Mie Aceh Bungong Jeumpa	0.824724
7	Nasi Goreng Sapi Kridosono	0.807487
8	Ayam Goreng Mbok Sabar	0.807104
9	Nasi Goreng Mafia	0.798128
10	Ayam Goreng Tohjoyo	0.785108
11	Mangut Lele Bu Is	0.776093

12	Nasi Gudeg Ayam Pawon	0.762699
13	Nasi Gudeg Ayam Sagan	0.751964
14	Mie Ayam Mas Yudi	0.750838
15	Tenderloin Warung Steak	0.750499
16	Ayam Goreng Penyet Xtra Hot	0.750485
17	Nasi Ayam Kadesa Racik Desa	0.725678
18	Lotek Tetek Sepur Lempuyangan	0.722781
19	Kupat Tahu Bakso Lombok Uleg	0.719670
20	Bebek Goreng H Slamet	0.716998
21	Soto Ayam Kadipiro	0.713103
22	Gado - gado Bu Ning	0.695407
23	Nasi Soto Suroboyo	0.684639
24	Nasi Pecel Bu Tien	0.682383
25	Soto Ayam Kampung Dalbe	0.678480
26	Nasi Gudeg Ceker Gejayan	0.670377
27	Nasi Uduk Palagan	0.655479
28	Nasi Merah Pecel Solo	0.650945
29	Sate Buntel Tambak Segaran	0.650265
30	Tonseng Ayam Sidomoro	0.647663
31	Sego Gudeg Mangut Lele Nggeneng	0.630988
32	Beef Stroganoff Sepiring	0.624127
33	Iga Bakar Jakal	0.623691
34	Tongseng Jamur Jejamuran Resto	0.619301
35	Nasi Rendang Sederhana	0.584856
36	Sate Kambing Godril	0.564157
37	Mie Ayam Bakso Ojo Lali	0.562134
38	Aburi Salmon Roll Sushi Tei	0.550874
39	Sate Klathak Pak Pong	0.548202
40	Udang Bakar Madu Mang Engking	0.543424
41	Nasi Gudeg Manggar Ibu Jumilan	0.472516

Berdasarkan perbandingan di atas dapat dilihat bahwa solusi yang paling ideal adalah nasi Brongkos Handayani karena memiliki nilai *relative closeness* paling tinggi.

2.2 Evaluasi

Evaluasi sederhana terhadap model rekomendasi menu makanan ini dilakukan dengan memberikan bobot ekstrim pada salah satu kriteria pemilihan. Bobot ekstrim yang dimaksud adalah:

1. Pengujian pada preferensi pengguna terhadap kriteria kalori 100%, harga 0%, dan jarak 0%.
2. Pengujian pada preferensi pengguna terhadap kriteria kalori 0%, harga 100%, dan jarak 0%.
3. Pengujian pada preferensi pengguna terhadap kriteria kalori 0%, harga 0%, dan jarak 100%.

Ketika pengujian pertama, harapannya adalah sistem mampu memberikan solusi menu makanan dengan kadar kalori rendah. Setelah percobaan, hasil yang diberikan sistem adalah benar bahwa sistem mampu memberikan solusi menu makanan dengan kalori terendah (Tabel 6).

Ketika pengujian kedua, harapannya adalah sistem mampu memberikan solusi menu makanan dengan harga termurah. Setelah percobaan, hasil yang diberikan sistem adalah benar bahwa sistem mampu memberikan solusi menu makanan dengan harga termurah (Tabel 7).

Ketika pengujian ketiga, harapannya adalah sistem mampu memberikan solusi menu makanan dengan jarak terdekat. Setelah percobaan, hasil yang diberikan sistem adalah benar bahwa sistem mampu memberikan solusi menu makanan dengan jarak terdekat (Tabel 8).

Tabel 6. Hasil Pengujian Preferensi Kalori 100%

Peringkat	Menu Makanan	Kalori	Relative Closeness
1	Sate Ayam Samirono	236	1
2	Udang Bakar Madu Mang Engking	266	0.912791
3	Mie Aceh Bungong Jeumpa	291	0.840116
4	Nasi Brongkos Handayani	300	0.813953
5	Aburi Salmon Roll Sushi Tei	304	0.802326
6	Nasi Gudeg Yu Djum	307	0.793605
7	Bakmi Jawa Mbah Hadi	321	0.752907
8	Bakmi Jawa Kadin	321	0.752907
9	Nasi Goreng Mafia	321	0.752907

10	Beef Stroganoff Sepiring	322	0.75
11	Tonseng Ayam Sidomoro	337	0.706395
12	Nasi Gudeg Manggar Ibu Jumilan	344	0.686047
13	Bebek Goreng H Slamet	349	0.671512
14	Mangut Lele Bu Is	352	0.662791
15	Nasi Goreng Sapi Kridosono	362	0.633721
...
41	Mie Ayam Bakso Ojo Lali	580	0

Tabel 7. Hasil Pengujian Preferensi Harga 100%

Peringkat	Menu Makanan	Harga	Relative Closeness
1	Soto Ayam Kampung Dalbe	6000	1
2	Tonseng Ayam Sidomoro	7500	0.9765625
3	Nasi Brongkos Handayani	7500	0.9765625
4	Mie Ayam Mas Yudi	8500	0.9609375
5	Nasi Gudeg Ceker Gejayan	8500	0.9609375
6	Nasi Pecel Bu Tien	8500	0.9609375
7	Nasi Soto Suroboyo	9000	0.9531250
8	Ayam Goreng Mbok Sabar	9500	0.9453125
9	Soto Ayam Kadipiro	10000	0.9375000
10	Gado - gado Bu Ning	10000	0.9375000
11	Tongseng Jamur Jejamuran Resto	10000	0.9375000
12	Kupat Tahu Bakso Lombok Uleg	10000	0.9375000
13	Ayam Goreng Tohjoyo	10000	0.9375000
14	Ayam Goreng Penyet Xtra Hot	11500	0.9140625
15	Nasi Uduk Palagan	12000	0.9062500
...
41	Aburi Salmon Roll Sushi Tei	70000	0

Tabel 8. Hasil Pen gujian Preferensi Jarak 100%

Peringkat	Menu Makanan	Jarak	Relative Closeness
1	Nasi Gudeg Ayam Pawon	0,465	1
2	Gado - gado Bu Ning	1,182	0.963064084
3	Lotek Tetek Sepur Lempuyangan	1,604	0.941324954
4	Bakmi Jawa Kadin	1,715	0.935606841
5	Ayam Goreng Mbok Sabar	1,927	0.924685761
6	Ayam Goreng Tohjoyo	2,114	0.915052545
7	Sate Buntel Tambak Segaran	2,280	0.906501133
8	Nasi Goreng Sapi Kridosono	2,329	0.903976921
9	Mie Ayam Mas Yudi	2,486	0.895889141
10	Aburi Salmon Roll Sushi Tei	2,562	0.891974037
11	Soto Ayam Kampung Dalbe	2,684	0.885689264
12	Tenderloin Warung Steak	2,756	0.881980218
13	Sate Ayam Samirono	2,760	0.88177416
14	Bakmi Jawa Mbah Hadi	2,794	0.880022666
15	Nasi Gudeg Ayam Sagan	2,815	0.878940861
...
41	Nasi Gudeg Manggar Ibu Jumilan	19,877	0

Dari hasil pengujian ini, metode TOPSIS dapat diterapkan untuk merekomendasikan menu makanan yang sesuai dengan preferensi penggunaanya.

3. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa metode TOPSIS dapat diterapkan dalam rekomendasi menu makanan. Preferensi setiap pengguna dalam memilih makanan dapat dijadikan sebagai nilai pembobotan dalam metode TOPSIS. Dari hasil evaluasi sederhana terlihat bahwa TOPSIS mampu memberikan rekomendasi sesuai dengan harapan.

Pada penelitian berikutnya dapat dilakukan evaluasi langsung terhadap penggunaanya sehingga hasil yang diperoleh dari sistem ini dapat dievaluasi langsung dengan harapan pengguna.

PUSTAKA

- Adomavicius, G., Manouselis, N., & Kwon, Y. (2011). Multi-Criteria Recommender Systems. In F. Ricci, L. Rokach, B. Shapira, & P. B. Kantor (Eds.), *Recommender Systems Handbook SE* - 24 (pp. 769–803). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-85820-3_24
- Budianto, A. E., & Yunus, E. P. A. (2017). Expert system to optimize the best goat selection using topsis: Decision support system. In *2017 4th International Conference on Computer Applications and Information Processing Technology (CAIPT)* (pp. 1–5). <https://doi.org/10.1109/CAIPT.2017.8320680>
- Calculate distance and bearing between two Latitude/Longitude points using haversine formula in JavaScript. (n.d.). Diambil dari <http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>
- Ching-Lai Hwang, K. Y. (auth. . (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications A State-of-the-Art Survey* (1st ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Harja, Y. D., & Sarno, R. (2018). Determine the best option for nearest medical services using Google maps API, Haversine and TOPSIS algorithm. In *2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)* (pp. 814–819). <https://doi.org/10.1109/ICOIACT.2018.8350709>
- Nugroho, R. A., & Ferdiana, R. (2014). Teknik Pemberian Rekomendasi Menu Makanan dengan Pendekatan Contextual Model dan Multi - Criteria Decision Making. In *Conference of Information Technology and Electrical Engineering* (p. 88).
- Ricci, F., Rokach, L., Shapira, B., & Kantor, P. B. (2011). *Recommender Systems Handbook*. (F. Ricci, L. Rokach, B. Shapira, & P. B. Kantor, Eds.). Boston, MA: Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-85820-3>
- Shukla, A., Agarwal, P., Rana, R. S., & Purohit, R. (2017). Applications of TOPSIS Algorithm on various Manufacturing Processes: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 4(4, Part D), 5320–5329. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.05.042>
- Xiang, N., w. Chung, C., & Shang, S. (2018). A Decision Making Method Based on TOPSIS and Considering the Social Relationship. In *2018 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp)* (pp. 90–97). <https://doi.org/10.1109/BigComp.2018.00022>
- Yang, W., Xu, K., Lian, J., Ma, C., & Bin, L. (2018). Integrated flood vulnerability assessment approach based on TOPSIS and Shannon entropy methods. *Ecological Indicators*, 89, 269–280. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.02.015>

PENERAPAN TEKNIK PEWARNAAN SIMPUL GRAF PADA PERMASALAHAN PENJADWALAN KULIAH

Theresia Sunarni¹, R. Kristoforus Jawa Bendi², Achmad Alfian³

^{1,3}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains & Teknologi, Universitas Katolik Misi Charitas
Jalan Bangau No. 60, Palembang 30113
Telp. (0711)366326

² Program Studi Informatika, Fakultas Sains & Teknologi, Universitas Katolik Misi Charitas
Jl. Bangau No.60, Palembang 30113

E-mail: t_sunarni@ukmc.ac.id, kristojb@ukmc.ac.id, a_alfian@ukmc.ac.id

ABSTRAK

Penjadwalan perkuliahan merupakan suatu cara mengalokasikan mahasiswa yang mengambil mata kuliah, dosen yang mengampu mata kuliah, dan ruang yang digunakan untuk perkuliahan pada slot waktu yang tersedia. Permasalahan yang kerap muncul dalam proses penjadwalan perkuliahan adalah terjadinya bentrok mata kuliah karena dosen atau mahasiswa dengan semester yang sama dijadwalkan pada slot waktu yang sama, dan terjadi pelanggaran dalam penjadwalan terhadap permintaan dosen untuk tidak dijadwalkan pada slot waktu tertentu. Untuk itu, penjadwalan mata kuliah perlu diperbaiki untuk mengoptimalkan sumberdaya yang ada. Teknik pewarnaan simpul graf dengan algoritma Welsh Powell dipilih sebagai metode penjadwalan dalam penelitian ini. Dengan teknik pewarnaan graf setiap kejadian akan dihitung derajat keterhubungannya dengan kejadian lain dan kemudian diberikan warna tertentu berdasarkan urutan derajatnya. Setelah itu setiap kejadian akan ditempatkan secara sekuensial ke dalam periode waktu berdasarkan prioritas batasan yang dibuat.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pewarnaan menjadi dasar dalam pengalokasian slot waktu dan ruang dalam proses penjadwalan. Pada penelitian ini proses tersebut dibuat 2 skenario dengan perbedaan sesi yang tersedia, ruang yang tersedia, dan hari yang tersedia. Dari kedua skenario tersebut menunjukkan bahwa dengan skenario 3 slot waktu, 2 ruang, dan 6 hari mendapatkan hasil yang optimal dimana pelanggaran constraint terjadi paling sedikit.

Kata Kunci: penjadwalan kuliah, pewarnaan graf, algoritma welsch-powell

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

University Timetable Problem (UTP) telah menjadi salah satu topik penelitian yang telah banyak dilakukan (Dewi, 2010; Hiryanto & Thio, 2011; Lumbantoruan, 2014). Jat & Yang (2008) menyebutkan bahwa UTP sebagai persoalan alokasi yang bersifat multidimensi, di mana mahasiswa dan dosen dialokasikan dalam mata kuliah, kelas-kelas mata kuliah dan preferensi waktu (baik dosen maupun mahasiswa) dialokasikan dalam ruang (*classrooms*) dan slot waktu (*timeslots*). UTP merupakan jenis permasalahan alokasi waktu yang diselesaikan dengan mengevaluasi batasan-batasan yang diberikan.

Penjadwalan perkuliahan merupakan kegiatan rutin yang dilakukan setiap semester pada sebuah perguruan tinggi. Penjadwalan perkuliahan merupakan suatu cara mengalokasikan mahasiswa yang mengambil mata kuliah, dosen yang mengampu mata kuliah, dan ruang yang digunakan untuk perkuliahan pada slot waktu yang tersedia. Kegiatan perkuliahan dilakukan dengan mempertimbangkan jumlah dosen dan ruang kelas dan slot waktu yang tersedia.

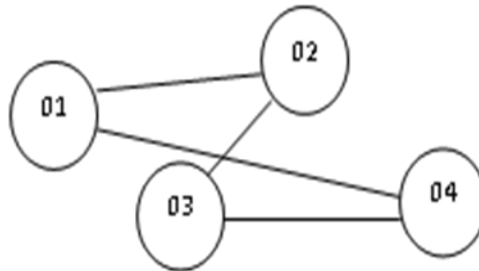
Sering kali pada proses penyusunan jadwal perkuliahan terjadi konflik atau bentrok antar mata kuliah, dosen, atau ruang kuliah pada suatu slot waktu tertentu. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, antara lain: (a) seorang dosen mengampu beberapa mata kuliah yang berbeda, (b) penggunaan ruangan yang sama untuk mata kuliah yang berbeda, (c) keterbatasan jumlah ruang kuliah yang tersedia, (d) kebutuhan ruangan tertentu (khusus) untuk beberapa mata kuliah, dan (e) permintaan dosen yang bersangkutan untuk tidak mengajar pada slot waktu tertentu. Penyusunan jadwal perkuliahan pada program studi Informatika dan program studi Sistem Informasi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Katolik Misi Charitas (FST UKMC) juga masih menghadapi kendala terjadinya bentrok dan belum terpenuhinya permintaan dosen untuk tidak dijadwalkan pada slot waktu tertentu. Penyusunan jadwal yang dilakukan dengan menempatkan mata kuliah tertentu pada suatu ruang dan slot waktu tertentu, selanjutnya untuk mata kuliah yang lain dengan mencari slot-slot waktu yang masih kosong. Penjadwalan yang dilakukan dengan cara coba-coba seperti ini tentunya akan menyulitkan dan membutuhkan waktu yang lama karena harus melakukan perbaikan berulang kali.

1.2 Tinjauan Pustaka

Terdapat berbagai metode penjadwalan yang telah dikembangkan sebelumnya. Burke & Sanja (2002) menyebutkan setidaknya ada empat kelompok metode yang telah digunakan dalam berbagai penelitian, antara lain metode sekuensial, metode klaster, metode berbasis konstrain, dan meta-heuristik. Salah satu metode yang sering digunakan untuk permasalahan penjadwalan kuliah adalah metode pewarnaan graf. Teknik ini termasuk dalam kelompok metode sekuensial.

Pewarnaan graf menempatkan kejadian setiap kejadian secara sekuensial ke dalam periode waktu yang valid sedemikian sehingga tidak ada konflik antar kejadian. Teknik ini menggunakan representasi graf, dimana kejadian direpresentasikan sebagai verteks dan konflik direpresentasikan sebagai jalur/simpul (Burke & Petrovic, 2002). Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan algoritma yang sering digunakan dalam pewarnaan graf adalah algoritma *Welch-Powell* (Astuti, 2011; Bozyer et al, 2011; Cauvery, 2011; Dandashi & Al-Mouhamed, 2010; Hiryanto & Thio, 2011; Susiloputro et al, 2012; Qu et al, 2009, Tasari 2012).

Graf (*graph*) adalah struktur diskrit yang terdiri dari simpul (*vertex*) dan sisi (*edge*), atau dengan kata lain, graf adalah pasangan himpunan (V, E) dengan V adalah himpunan tidak kosong dari vertex dan E adalah himpunan sisi yang menghubungkan sepasang simpul dalam graf tersebut. Gambar 1 merupakan contoh penggambaran simpul, sisi dan perhitungan derajat. Pada gambar 1 ditunjukkan ada 4 mata kuliah (01, 02, 03, dan 04) dengan garis penghubung (sisi) antar mata kuliah yang menunjukkan adanya kesamaan dosen pengampu dan semester. Derajat simpul dihitung berdasarkan jumlah sisi yang dimiliki sebuah simpul. Besarnya derajat simpul 01 adalah 2, simpul 02 adalah 3, simpul 03 adalah 2, dan simpul 04 adalah 3.



Gambar 1. Judul Gambar, juga menggunakan *sentence case* (huruf awalnya besar)

Dalam teori graf dikenal istilah pewarnaan graf (*graph coloring*), yaitu sebuah metode untuk memberi label pada sebuah graf. Label tersebut bisa diberi pada simpul, sisi maupun wilayah (*region*) (Astuti, 2011). Pewarnaan simpul dari sebuah graf adalah memberi warna pada simpul-simpul suatu graf sedemikian sehingga tidak ada dua simpul bertetangga yang memiliki warna yang sama. Kita dapat memberikan sembarang warna pada simpul-simpul asalkan berbeda dengan simpul-simpul tetangganya.

Algoritma *welch powell* merupakan salah satu algoritma pewarnaan graf yang melakukan pewarnaan berdasarkan derajat tertinggi dari simpul-simpulnya, disebut *Largest Degree Ordering* (LDO). Algoritma *welch powell* dapat digunakan untuk mewarnai sebuah graf G secara efisien dan praktis, walaupun tidak selalu memberikan jumlah warna minimum yang diperlukan untuk mewarnai G . Adapun tahapan pewarnaan dengan algoritma *welch powell* adalah sebagai berikut:

- 1) Urutkan simpul-simpul dari G dalam derajat yang menurun
- 2) Gunakan satu warna untuk mewarnai simpul pertama (yang mempunyai derajat tertinggi) dan simpul-simpul lain (dalam urutan yang berurutan) yang tidak bertetangga dengan simpul pertama ini.
- 3) Mulai lagi dengan simpul berderajat tertinggi berikutnya di dalam daftar terurut yang belum diwarnai dan ulangi proses pewarnaan simpul dengan menggunakan warna kedua.
- 4) Ulangi penggunaan warna-warna sampai semua simpul telah diwarnai.

1.3 Metodologi Penelitian

Tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah (1) pengumpulan dan kodifikasi data, (2) proses pewarnaan graf, (3) pengalokasian slot waktu, dan (4) analisis optimasi. Tahapan dalam penjadwalan dimulai mengumpulkan dan melakukan kodifikasi data. Pada tahap berikut, dilakukan identifikasi hubungan antar verteks dalam hal ini mata kuliah, berdasarkan kesamaan dosen pengampu, program studi dan semester. Hubungan yang terbentuk menjadi dasar dalam penghitungan derajat mata kuliah yang digunakan dalam pewarnaan graf. Berikutnya hasil pewarnaan graf menjadi dasar dalam pengalokasian slot waktu dan ruang pada jadwal. Pengalokasian dilakukan

dengan memperhatikan constraints yang telah ditetapkan. Pada tahap ini, proses pengalokasian dilakukan dalam dua skenario. Langkah terakhir adalah membandingkan hasil pengalokasian berdasarkan skenario yang telah ditetapkan untuk melihat hasil yang paling optimal.

2. PEMBAHASAN

2.1 Pengumpulan dan Kodifikasi Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data perkuliahan semester ganjil 2016/2017 pada program studi Informatika dan program studi Sistem Informasi, Universitas Katolik Musi Charitas (Tabel 2). Terdapat 39 mata kuliah dengan 18 dosen pengampu. Total sks untuk seluruh mata kuliah adalah 112 sks atau 56 sesi kuliah, dimana pada setiap sesi kuliah akan dilaksanakan sebanyak 2 sks. Total mata kuliah yang menggunakan laboratorium sebanyak 48 sks atau dibutuhkan 24 sesi yang harus dilaksanakan di laboratorium (Tabel 2). Terdapat 4 laboratorium yang digunakan. Sisanya sebanyak 32 sesi kuliah dilaksanakan di ruang kuliah. Ruang kuliah yang tersedia sebanyak 3 ruang.

Untuk memudahkan proses pengolahan data, pertama-tama dilakukan kodifikasi data. Setiap data akan direpresentasikan secara numerik berdasarkan ketentuan yang diberikan (Tabel 1).

Tabel 1. Representasi Kodifikasi Data

<i>Representasi Kriteria</i>	<i>Kode</i>	<i>Kode</i>
Mata Kuliah	1 sampai 39	setiap mata kuliah direpresentasikan dengan sebuah nomor. Misalnya MK001 akan diberi kode 1, demikian seterusnya
Dosen	1 sampai 18	setiap dosen direpresentasikan dengan sebuah angka. Misalnya dosen D001 akan diberi kode 1, demikian seterusnya
sks	2 atau 4	2 = mata kuliah dengan beban 2 sks, 4 = mata kuliah dengan beban 4 sks
program studi	1 sampai 3	1 = program studi Informatika (IF), 2 = program studi Sistem Informasi (SI), 3 = kelas gabungan program studi IF dan SI
semester	1 sampai 8	1 = semester 1, 2 = semester 2, demikian seterusnya

Tabel 2. Data penelitian

No	Mata Kuliah	Kode Mata Kuliah	Dosen	Kode Dosen	Program Studi	Prodi	SKS	Semester	Kode Simpul
1	MK001	1	D007	7	SI	2	4	1	01/07/2/4/1
2	MK002	2	D008	8	IF/SI	3	2	3	02/08/3/2/3
3	MK003	3	D013	13	SI	2	4	5	03/13/2/4/5
4	MK004	4	D013	13	IF	1	4	5	04/13/1/4/5
5	MK005	5	D014	14	IF	1	4	7	05/14/1/4/7
6	MK006	6	D010	10	IF/SI	3	2	7	06/10/3/2/7
7	MK007	7	D001	1	IF/SI	3	2	7	07/01/3/2/7
8	MK008	8	D009	9	IF	1	4	5	08/09/1/4/5
9	MK009	9	D007	7	IF	1	4	5	09/07/1/4/5
10	MK010	10	D005	5	SI	2	2	3	10/05/2/2/3
11	MK011	11	D016	6	IF	1	4	3	11/16/1/4/3
12	MK012	12	D002	2	SI	2	2	5	12/02/2/2/5
13	MK013	13	D010	10	SI	2	2	6	13/10/2/2/6
14	MK014	14	D010	10	SI	2	4	1	14/10/2/4/1
15	MK015	15	D014	14	SI	2	2	6	15/14/2/2/6
16	MK016	16	D007	7	IF	1	4	8	16/07/1/4/8
17	MK017	17	D011	11	SI	2	4	5	17/11/2/4/5
18	MK018	18	D011	11	IF	1	4	5	18/11/1/4/5
19	MK019	19	D006	6	SI	2	2	3	19/06/2/2/3
20	MK020	20	D006	6	IF	1	2	3	20/06/1/2/3
21	MK021	21	D006	6	IF/SI	3	2	3	21/06/3/2/3
22	MK022	22	D017	17	IF/SI	3	2	3	22/17/3/2/3
23	MK023	23	D003	3	SI	2	2	1	23/03/2/2/1
24	MK024	24	D015	15	SI	2	4	1	24/15/2/4/1
25	MK025	25	D010	10	SI	2	2	1	25/10/2/2/1
26	MK026	26	D002	2	SI	2	2	5	26/02/2/2/5
27	MK027	27	D009	9	SI	2	2	7	27/09/2/2/7
28	MK028	28	D010	10	SI	2	2	3	28/10/2/2/3
29	MK029	29	D004	4	IF	1	4	5	29/04/1/4/5
30	MK030	30	D002	2	SI	2	4	5	30/02/2/4/5

No	Mata Kuliah	Kode Mata Kuliah	Dosen	Kode Dosen	Program Studi	Prodi	SKS	Semester	Kode Simpul
31	MK031	31	D014	14	IF	1	2	6	31/14/1/2/6
32	MK032	32	D018	18	SI	2	2	5	32/18/2/2/5
33	MK033	33	D002	2	SI	2	2	7	33/02/2/2/7
34	MK034	34	D010	10	SI	2	2	3	34/10/2/2/3
35	MK035	35	D015	15	IF	1	2	3	35/15/1/2/3
36	MK036	36	D005	5	SI	2	4	3	36/05/2/4/3
37	MK037	37	D016	16	IF	1	4	3	37/16/1/4/3
38	MK038	38	D009	9	IF/SI	3	2	3	38/09/3/2/3
39	MK039	39	D012	12	SI	2	4	1	39/12/2/4/1
							112		

2.2 Proses Pewarnaan Graf

Setelah kodifikasi data dilakukan, tahap berikutnya adalah melakukan pewarnaan graf. Dalam hal ini, mata kuliah adalah simpul (vertex) dari graf, sedangkan dosen, prodi dan semester menjadi sisi (edge) yang menghubungkan satu simpul dengan simpul lainnya. Setiap mata kuliah yang diampu oleh dosen yang sama dianggap memiliki sisi yang berhubungan. Demikian juga jika mata kuliah tersebut berada dalam satu prodi dan semester yang sama akan dianggap memiliki sisi yang berhubungan.

Tahap pertama dalam pewarnaan graf adalah menghitung banyaknya sisi atau derajat dari setiap simpul. Sebagai contoh, MK001 akan memiliki sisi yang terhubung ke MK009 dan MK016 karena diampu oleh dosen yang sama yaitu D007. MK001 juga akan memiliki sisi yang terhubung dengan MK023, MK024, MK025 dan MK039 karena kelima mata kuliah tersebut berada dalam satu program studi (SI) pada semester yang sama (semester 1). Selain itu MK001 juga akan terhubung dengan MK006, MK007, MK014, dan MK015 karena keempat mata kuliah tersebut merupakan mata kuliah gabungan IF dan SI. Dengan demikian MK001 akan memiliki 10 sisi yang terhubung ke simpul lain atau diberi nilai derajat = 7. Contoh lainnya, MK002 merupakan mata kuliah gabungan prodi IF dan prodi SI pada semester 3. Dengan demikian MK002 akan terhubung mata kuliah MK001, MK010, MK018, MK019, serta mata kuliah gabungan IF/SI (MK006, MK007, MK014, MK015). Dengan demikian MK002 akan memiliki nilai derajat = 8.

Tabel 3. Derajat dan Warna Simpul

No	Mata Kuliah	Jumlah edge yang terbentuk karena kesamaan Dosen	Jumlah edge yang terbentuk karena kesamaan Prodi dan semester	Derajat	Warna	Urutan pengisian slot
1	MK001	2	8	10	5	21
2	MK002	0	8	8	5	7
3	MK003	1	4	5	8	37
4	MK004	1	5	6	5	6
5	MK005	2	5	7	5	10
6	MK006	5	12	17	1	1
7	MK007	0	12	12	4	4
8	MK008	2	1	3	5	22
9	MK009	2	5	7	5	20
10	MK010	2	8	10	5	16
11	MK011	1	5	6	5	12
12	MK012	3	5	8	5	14
13	MK013	5	7	12	5	24
14	MK014	5	12	17	2	2
15	MK015	2	12	14	3	3
16	MK016	2	3	5	5	19
17	MK017	1	5	6	5	9
18	MK018	1	8	9	5	8
19	MK019	2	8	10	5	18
20	MK020	2	4	6	6	33
21	MK021	2	4	6	6	30
22	MK022	0	7	7	6	25
23	MK023	0	7	7	6	28
24	MK024	1	7	8	6	26
25	MK025	5	3	8	7	36
26	MK026	3	5	8	5	15
27	MK027	2	2	4	6	32
28	MK028	5	5	10	6	34
29	MK029	0	5	5	5	5

30	MK030	3	4	7	6	35
31	MK031	2	1	3	5	10
32	MK032	0	4	4	6	29
33	MK033	3	0	3	6	31
34	MK034	5	0	5	9	38
35	MK035	1	4	5	10	39
36	MK036	0	5	5	5	17
37	MK037	1	5	6	5	13
38	MK038	2	5	7	5	23
39	MK039	0	4	4	6	27

Setelah derajat setiap mata kuliah dihitung, langkah berikutnya adalah memberikan warna pada setiap mata kuliah dimulai dari mata kuliah dengan derajat tertinggi. Setelah itu, warna yang sama akan diberikan pada seluruh mata kuliah yang tidak memiliki sisi dengan mata kuliah yang telah diwarnai. Sebagai contoh, MK006 adalah simpul dengan derajat tertinggi, maka MK006 akan diberi warna 1. Setelah itu akan dicari seluruh simpul yang tidak memiliki sisi yang terhubung ke MK006. Seluruh simpul yang tidak memiliki sisi terhubung ke MK006 akan diberi warna yang sama dengan MK006, yakni warna 1. Langkah selanjut memilih simpul dengan derajat tertinggi berikut yang belum diwarnai. Dalam hal ini MK014 akan terpilih sebagai simpul yang akan diwarnai. MK014 akan diberi warna 2. Kemudian akan dicari seluruh simpul yang tidak bersisian dengan MK014 untuk diberikan warna yang sama. Proses tersebut dilakukan berulang-ulang hingga seluruh simpul mendapatkan warna. Tabel 3 menyajikan derajat dari setiap mata kuliah dan hasil perwarnaannya.

2.3 Pengalokasian Slot Waktu

Langkah pertama pada proses pengalokasian adalah menentukan preferensi waktu dosen dan preferensi ruang mata kuliah. Yang dimaksudkan dengan preferensi waktu dosen adalah waktu yang tersedia (*available*) bagi seorang dosen. Sedangkan preferensi ruang mata kuliah adalah mata kuliah yang membutuhkan atau harus dilaksanakan pada ruang tertentu, misalnya mata kuliah praktikum harus dilaksanakan di laboratorium. Penentuan preferensi dibutuhkan untuk menentukan prioritas pengalokasian slot. Tabel 4 memperlihatkan preferensi waktu dosen. Sedangkan Tabel 5 memperlihatkan preferensi ruang mata kuliah.

Tabel 4. Preferensi waktu dosen

No	Dosen	Senin			Selasa			Rabu			Kamis			Jumat			Sabtu			Jumlah preferensi
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	D001		v	v			v		v	v			v		v	v				8
2	D002	v	v	v	v	v	v	v	v	v				v	v	v				13
3	D003		v	v		v	v		v	v	v	v		v	v					10
4	D004										v	v	v							3
5	D005	v	v	v	v	v	v	v	v	v				v	v	v				13
6	D006	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v		v	v	v				13
7	D007	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v			v	v	v				13
8	D008	v	v		v	v		v	v					v	v					8
9	D009	v	v	v	v	v	v	v	v	v				v	v	v				13
10	D010	v	v	v	v	v	v	v	v	v				v	v	v				13
11	D011	v	v	v	v	v	v	v	v	v				v	v					11
12	D012	v	v		v	v		v	v		v	v		v	v					10
13	D013										v	v	v				v	v		5
14	D014	v	v	v	v	v	v	v	v	v				v	v	v				12
15	D015	v	v		v	v		v	v		v			v	v					9
16	D016	v	v	v	v	v	v	v	v	v				v	v					12
17	D017										v			v			v	v	v	5
18	D018	v	v	v	v	v	v	v	v	v				v	v	v				12

Tabel 5. Preferensi ruang kuliah

Mata Kuliah	Kode Ruang	Ruang
MK001	L1	Lab Pemrograman Dasar
MK003	L4	Lab Pemrograman Lanjut
MK004	L4	Lab Pemrograman Lanjut
MK008	L5	Lab Multimedia
MK009	L5	Lab Multimedia
MK010	L2	Lab Perangkat Keras

MK011	L2	Lab Perangkat Keras
MK016	L5	Lab Multimedia
MK017	L1	Lab Pemrograman Dasar
MK018	L1	Lab Pemrograman Dasar
MK021	L5	Lab Multimedia
MK036	L4	Lab Pemrograman Lanjut
MK037	L4	Lab Pemrograman Lanjut
MK038	L5	Lab Multimedia

Mata kuliah akan dialokasikan ke dalam slot-slot waktu berdasarkan *constraint* atau batasan-batasan penjadwalan yang ditentukan. Ada dua jenis *constraint* yang ditentukan, yakni *hard constraint* dan *soft constraint*. *Hard constraint* merupakan batasan yang harus dipenuhi atau tidak boleh dilanggar pada saat penyusunan jadwal. Sedangkan *soft constraint* merupakan batasan yang sebisa mungkin dipenuhi. *Hard constraint* dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Seorang dosen tidak dapat dijadwalkan pada waktu yang bersamaan untuk dua atau lebih mata kuliah.
2. Sebuah mata kuliah tidak dapat dijadwalkan bersamaan dengan mata kuliah lain yang bersamaan semester dalam program studi yang sama
3. Sebuah mata kuliah yang dijadwalkan pada ruang tertentu hanya dapat dilaksanakan pada ruang tersebut

Sedangkan *soft constraint* yang digunakan sebagai berikut.

1. Seorang dosen diusahakan dijadwalkan sesuai dengan preferensi waktu yang tersedia
2. Mata kuliah dengan semester yang sama diusahakan dijadwalkan maksimum 2 mata kuliah per hari.

Pada saat pengalokasian, data ditempatkan dalam slot berdasarkan prioritas. Prioritas pengalokasian sebagai berikut.

1. Mata kuliah gabungan akan dijadwalkan terlebih dahulu.
2. Dosen dengan preferensi waktu yang paling kecil akan dijadwalkan terlebih dahulu.
3. Mata kuliah dengan preferensi kebutuhan ruang tertentu akan dijadwalkan terlebih dahulu.
4. Mata kuliah dengan semester yang lebih tinggi akan dijadwalkan terlebih dahulu.
5. Mata kuliah dengan jumlah sks yang lebih tinggi, akan dijadwalkan terlebih dahulu.

Karena proses pengisian mata kuliah ke dalam slot merupakan proses sekuensial, maka langkah berikutnya adalah menentukan urutan mata kuliah yang akan dialokasikan ke dalam slot waktu. Penentuan urutan mata kuliah dilakukan dengan langkah-langkah berikut: (1) dimulai dari warna terkecil, misalkan dimulai dari warna = 1 dan seterusnya, (2) untuk seluruh mata kuliah yang dipilih pada langkah (1), pilih mata kuliah dengan preferensi dosen terkecil, (3) untuk seluruh mata kuliah yang dipilih pada langkah (2), pilih mata kuliah dengan preferensi ruang tertentu, (4) untuk seluruh mata kuliah yang dipilih pada langkah (3), pilih mata kuliah dengan semester tertinggi, (5) untuk seluruh mata kuliah yang dipilih pada langkah (4), pilih mata kuliah dengan sks tertinggi, (6) untuk seluruh mata kuliah yang dipilih pada langkah (5), pilih mata kuliah dengan kode mata kuliah terkecil, (7) tempatkan mata kuliah yang dipilih pada langkah (6) pada urutan pertama dan seterusnya, (8) kembali ke langkah (2) hingga seluruh mata kuliah dengan warna = 1 selesai urutkan, (9) kembali ke langkah (1). Hasil pengurutan dapat dilihat pada Tabel 3.

Pada tahap proses pengisian slot, langkah pertama adalah merancang skenario slot. Dalam analisis ini digunakan dua skenario (Tabel 6). Penentuan skenario ini didasarkan pada jumlah data yang harus dialokasikan. Dari 56 sesi kuliah terdapat 18 sesi yang harus dialokasikan pada ruang khusus, sedangkan 38 sesi sisanya perlu dialokasikan dalam pada ruang kelas. Karena itu, slot waktu yang disediakan minimal 56 slot, dengan minimal 18 slot ruang khusus dan 38 slot untuk ruang kelas.

Tabel 6. Skenario penjadwalan

Skenario	Jml Hari	Jml Ruang Kelas	Jml ruang khusus	Jml Sesi/Hari	Total slot untuk ruang kelas	Total slot untuk ruang khusus
1	5	4	4	2	40	40
2	5	3	4	3	45	60

Keterangan: total slot untuk ruang kelas pada skenario 2 dijadikan 40 slot.

Proses pengalokasian data ke dalam slot merupakan proses pengisian sel matriks sesi dan ruang. Proses pengisian sel dilakukan secara sekuensial dimulai dari sel pertama dan seterusnya dengan memperhatikan preferensi dosen, preferensi ruang serta *constraints* telah yang ditetapkan. Hasil pengalokasian mata kuliah dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

2.4 Analisis Optimasi

Tabel 7 menunjukkan hasil pengalokasian slot untuk skenario 1. Berdasarkan Tabel 7 tersebut, terlihat adanya pelanggaran *soft constraint* yang ditunjukkan dengan adanya mata kuliah yang ditempatkan tidak sesuai dengan preferensi waktu dosen (20/06/1/4/5, 01/07/2/2/3, 04/13/2/4/1, 04/13/2/4/1). Pada skenario 2 (Tabel 8), terlihat bahwa pelanggaran *soft constraint* terjadi pada satu mata kuliah (04/13/2/4/1).

Tabel 7. Jadwal skenario 1

Slot Waktu		T1	T2
Senin	R1	06/10/3/2/3	14/10/3/2/3
	R2	31/14/2/2/6	39/12/1/4/5
	R3	39/12/1/4/5	33/02/1/4/8
	R4	27/09/1/4/7	35/15/3/2/7
	L1	17/11/2/4/1	17/11/2/4/1
	L2	11/16/2/2/5	
	L4		37/16/2/2/5
	L5	16/07/2/2/7	08/09/2/2/6
Selasa	R1	15/14/3/2/3	02/08/2/2/3
	R2	12/02/2/4/5	05/14/2/2/1
	R3	32/18/1/4/5	12/02/2/4/5
	R4	27/09/1/4/7	34/10/1/2/6
	L1		
	L2		
	L4	36/05/2/2/1	03/13/3/2/7
	L5		21/06/1/4/5
Rabu	R1	26/02/2/4/5	07/01/3/2/3
	R2	24/15/1/4/3	26/02/2/4/5
	R3	32/18/1/4/5	20/06/1/4/5
	R4	25/10/2/2/7	
	L1	18/11/2/2/3	
	L2		
	L4		
	L5	38/09/2/4/1	38/09/2/4/1
Kamis	R1	29/04/2/4/1	29/04/2/4/1
	R2	22/17/1/4/3	23/03/1/2/3
	R3	33/02/1/4/8	20/06/1/4/5
	R4	28/10/2/4/5	
	L1		01/07/2/2/3
	L2	10/05/2/2/3	
	L4		
	L5	21/06/1/4/5	
Jumat	R1	19/06/2/4/3	19/06/2/4/3
	R2	22/17/1/4/3	24/15/1/4/3
	R3	30/02/1/4/5	28/10/2/4/5
	R4	13/10/1/2/3	30/02/1/4/5
	L1		
	L2		
	L4	04/13/2/4/1	04/13/2/4/1
	L5	09/07/2/2/5	

Keterangan: data dalam sel didasarkan pada kode simpul pada Tabel 2

Tabel 8. Jadwal skenario 2

Slot Waktu		T1	T2	T3
Senin	R1	06/10/3/2/3	14/10/3/2/3	15/14/3/2/3
	R2	31/14/2/2/6	39/12/1/4/5	05/14/2/2/1
	R3	39/12/1/4/5	33/02/1/4/8	12/02/2/4/5
	L1	17/11/2/4/1	17/11/2/4/1	
	L2	11/16/2/2/5		
	L4		37/16/2/2/5	
	L5	16/07/2/2/7	08/09/2/2/6	21/06/1/4/5
	L6			
Selasa	R1	02/08/2/2/3	12/02/2/4/5	07/01/3/2/3
	R2	26/02/2/4/5	24/15/1/4/3	26/02/2/4/5
	R3	13/10/1/2/3	32/18/1/4/5	23/03/1/2/3

	L1		18/11/2/2/3	
	L2			
	L4	36/05/2/2/1		
	L5	21/06/1/4/5	38/09/2/4/1	38/09/2/4/1
	R1	19/06/2/4/3	32/18/1/4/5	19/06/2/4/3
Rabu	R2	24/15/1/4/3	27/09/1/4/7	27/09/1/4/7
	R3	30/02/1/4/5	28/10/2/4/5	28/10/2/4/5
	L1			
	L2			
	L4	04/13/2/4/1		
Kamis	L5	09/07/2/2/5	10/05/2/2/3	
	R1	29/04/2/4/1	29/04/2/4/1	
	R2	22/17/1/4/3		
	R3	20/06/1/4/5		
	L1	01/07/2/2/3		
Jumat	L2			
	L4	03/13/3/2/7		04/13/2/4/1
	L5			
	R1	22/17/1/4/3	30/02/1/4/5	25/10/2/2/7
	R2	20/06/1/4/5	34/10/1/2/6	
	R3	35/15/3/2/7	35/15/3/2/7	
	L1			
	L2			
	L4			
	L5			

Keterangan: data dalam sel didasarkan pada kode simpul pada Tabel 2

Berdasarkan kedua skenario tersebut kemudian dilakukan analisis optimasi. Analisis didasarkan pada jumlah pelanggaran *constraint* dan utilisasi slot waktu. Hasil analisis (Tabel 9) menunjukkan bahwa skenario 1 lebih optimal dibandingkan dengan skenario 2. Hal ini menunjukkan bahwa kendati terjadi pelanggaran *soft constraints* pada skenario 1, namun dari sisi utilisasi slot waktu lebih efisien.

Tabel 9. Analisis Optimasi

Skenario	Pelanggaran <i>hard constraints</i>	Pelanggaran <i>soft constraints</i>	utilisasi slot ruang khusus	utilisasi slot ruang kelas	rerata
1	0%	7,1%	45,0%	95,0%	36,8%
2	0%	3,6%	30,0%	84,4%	29,5%

3. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pewarnaan graf dengan algoritma *welch powell* dapat digunakan untuk menghasilkan jadwal kuliah. Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk mengoptimasi hasil penjadwalan yang telah diperoleh. Dengan demikian, diharapkan seluruh *constraint* yang ditetapkan dapat terpenuhi. Penelitian ini masih akan dilanjutkan dengan melakukan penjadwalan dengan cakupan yang lebih luas dan akan dibuat perangkat lunak untuk penjadwalan dengan pewarnaan graf menggunakan algoritma *welch-powell*.

PUSTAKA

- Astuti, S., 2011, "Penyusunan Jadwal Kuliah Dengan Algoritma Pewarnaan Graf Welch Powell", Jurnal Dian, Vol. 11 No1, hlm. 68-74.
- Bozyer, Z., Basar, M. S., & Aytekin, A., 2011, "A Novel Approach of Graph Coloring for Solving University Course Timetabling Problem", The Second International Symposium on Computing in Science & Engineering, hlm. 560-566, Kusadasi, Aydin, Turkey: Gediz University Publications.
- Burke, E. K., & Petrovic, S., 2002, "Recent Research Directions In Automated Timetabling", European Journal of Operational Research, hlm. 266-280.
- Cauvery, N. K., 2011, "Timetable Scheduling using Graph Coloring", International Journal of P2P Network Trends and Technology, Vol 1 No 2, hlm. 57-62.
- Dandashi, A., & Al-Mouhamed, M., 2010, "Graph Coloring for Class Scheduling", IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications, hlm. 1-4, Hammamet: IEEE.
- Dewi, F. K., 2010, "Pembangunan Perangkat Lunak Pembangkit Jadwal Kuliah dan Ujian Dengan Metode Pewarnaan Graf", Buana Informatika, Vol 1 No1, hlm. 57-68.

- Hiryanto, L., & Thio, J. S., 2011, “Pengembangan Metode Graph Coloring Untuk University Course Timetable Problem Pada Fakultas Teknologi Informasi Universitas Tarumanagara”, *Jurnal Ilmu Komputer dan Informasi*, Vol 4 No 2, hlm. 82-91.
- Jat, S. N., & Yang, S., 2008, “A Memetic Algorithm for the University Course Timetabling Problem”, *IEEE International Conference on Tools With Artificial Intelligence*, hlm. 427-433, IEEE.
- Lumbantoruan, I., 2014, “Perancangan Aplikasi Penjadwalan Bimbingan Belajar Dina Education Center Menggunakan Metode Welch Powell. *Pelita Informatika Budi Darma*”, Vol 7 No 2, hlm. 141-146. Diambil kembali dari <http://www.pelita-informatika.com/berkas/jurnal/24.%20imelda.pdf>
- Qu, R., Burke, E. K., McCollum, B., Merlot, L. T., & Lee, Y. S., 2009, “A Survey of Search Methodologies and Automated System Development for Examination Timetabling”, *Journal of Scheduling*, hlm. 55-89.
- Susiloputro, A., Rochmad, & Alamsyah., 2012, “Penerapan Pewarnaan Graf Pada Penjadwalan Ujian Menggunakan Algoritma Welsh Powell”, *UNNES Journal Of Mathematics*, Vol 1 No 1, hlm. 1-7.
- Tasari, 2012, “Aplikasi Pewarnaan Graf Pada Penjadwalan Perkuliahan Di Program Studi Pendidikan Matematika Unwidha Klaten”, *Magistra*, No 82 Th 24 Desember 2012, hlm.70-78.

Ucapan Terima Kasih

Tulisan ini merupakan bagian dari Program Hibah Penelitian Strategis Nasional Institusi tahun 2018 yang dibiayai Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada seluruh responden yang telah bersedia memberikan data. Juga kepada pimpinan dan kolega di Universitas Katolik Musi Charitas atas dukungan dan semangatnya.

APLIKASI WEB GAMIFIKASI MATA KULIAH

Escobar Sumampouw, Thomas Suwanto, dan Rinaldi Munir

Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Katolik De La Salle Manado

Kampus Kombos Kairagi I, Manado

Telp. (0411) 871038

E-mail: escomiku@gmail.com, tsuwanto@unikadelasalle.ac.id, rinaldi@informatika.org

ABSTRAK

Seiring dengan berkembangnya teknologi maka pengajar melakukan beberapa cara untuk membuat mahasiswa lebih terlibat dalam mata kuliah dengan menggunakan teknologi dan metode pendekatan yang ada. Salah satu cara untuk membuat agar mahasiswa lebih terlibat dan lebih aktif dalam mata kuliah yaitu menggunakan suatu metode dan pemanfaatan teknologi seperti gamifikasi. Konsep gamifikasi adalah penerapan beberapa elemen game ke dalam lingkungan yang tidak berkonteks game. Penerapan gamifikasi pada perkuliahan diharapkan menjadi solusi untuk meningkatkan keterlibatan mahasiswa dalam mata kuliah yang diikutinya. Pembuatan aplikasi gamifikasi ini dirancang menggunakan bahasa pemrograman web PHP, HTML5, dan JavaScript, kaskas pemodelan UML dengan basis data MySQL versi 5.5.0. Aplikasi berhasil dibangun dan dilakukan pengujian. Pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa aplikasi ini berfungsi sesuai dengan kebutuhan, konsep gamifikasi telah dipenuhi dan diterapkan, dan dapat digunakan untuk suatu peningkatan keterlibatan mahasiswa dalam suatu mata kuliah.

Kata Kunci: Gamifikasi, Teknologi, Mata Kuliah, Elemen Game

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan berkembangnya teknologi pada saat ini telah merubah sifat dan sikap dari mahasiswa, dimana menuntut pengajar untuk menggunakan teknik mengajar yang lebih kreatif agar membuat mahasiswa lebih aktif dan termotivasi dalam suatu pembelajaran. Beberapa pendekatan dengan teknologi untuk mengajar dilakukan seperti contohnya *e-learning*, *video conferencing*, dan cara lainnya. Cara – cara ini bisa dikatakan sebuah usaha untuk menterjemahkan cara pengajaran klasik ke dunia Teknologi Informasi.

Perkembangan teknologi tidak hanya mempengaruhi bidang pengajaran, tetapi juga di dunia *gaming*, Hampir semua kalangan sekarang aktif bermain *game* baik pada perangkat *mobile* ataupun lewat komputer, yang menjadi daya tarik dalam *game* adalah, hadiah – hadiah yang bisa didapatkan untuk membuat pengalaman *gaming* menjadi lebih baik ataupun capaian-capaian yang membuat kita bahagia dan bangga, sehingga terus memotivasi kita untuk memainkan *game* yang kita mainkan.

Gamifikasi (Yohannis *et al.* 2014) adalah proses yang mengintegrasikan elemen dari *game* ke dalam objek *gameless* untuk mendapatkan karakteristik dari *game*. Terdapat bermacam – macam gamifikasi untuk diterapkan, seperti contohnya untuk evaluasi, pembelajaran, ataupun perekrutan karyawan. Contoh dari Gamifikasi dengan edukasi lain yaitu ClassDojo dan Socrative 101. ClassDojo (Chou 2013) adalah manajemen *classroom* untuk membantu pengajar mengembangkan tingkah laku dalam *classroom* dengan cepat dan lebih mudah. Socrative 101 (Chou 2013) membuat murid lebih aktif dengan sistem respons yang memberikan latihan pembelajaran dan *games* pada laptop maupun *mobile*. Gamifikasi dilakukan pada salah satu mata kuliah dari universitas dan membuat pengguna yaitu mahasiswa dan dosen bisa berinteraksi dan terlibat dengan aplikasi.

Dengan diterapkannya gamifikasi pada suatu mata kuliah dapat membuat mahasiswa dan dosen lebih terlibat untuk metode pembelajaran yang lebih produktif dan memotivasi pengguna untuk belajar. Hal tersebut menjadi dorongan untuk pembuatan aplikasi gamifikasi untuk suatu mata kuliah. Elemen – elemen yang diterapkan dari prinsip *game* yaitu *achievement*, status, *rewards*, dan *leaderboards*.

1.2 Tinjauan Pustaka

1.2.1 Definisi Gamifikasi

Menurut Kapp *et al.* (2013), gamifikasi adalah penggunaan mekanisme, estetika, dan *game-thinking* dari *game* untuk mengajak, memotivasi, mendorong pembelajaran dan pemecahan masalah. Dengan kata lain, gamifikasi menggunakan bagian – bagian dari *game* untuk memotivasi pengguna. Terdapat 2 tipe dari gamifikasi yaitu, *structural gamification* dan *content gamification*. Keduanya dapat dikembangkan pada arah yang sama, bahkan jika keduanya digabung akan lebih berdampak pada tujuan yang diinginkan. Dengan kata lain, gamifikasi adalah penerapan elemen dari *game* untuk dimasukkan dalam konteks *non- game*. Elemen *game* yang dimaksud yaitu seperti *achievement*, *level*, *competition*, *status*, dan sebagainya dimasukkan pada konteks *non – game* seperti ruang kelas belajar.

1.2.2 Structural Gamification

Structural Gamification atau gamifikasi terstruktur adalah penerapan dari elemen *game* untuk mendorong pelajar tanpa perubahan dari isi. Fokus dari tipe gamifikasi ini untuk memotivasi pelajar agar melewati isi yang dipelajari dan mendorong mereka untuk belajar dengan memberikan *rewards*. Isinya tidak berubah, tetapi struktur untuk mencapai isi tersebut yang berubah.

Sebagai contoh, pelajar mendapatkan poin dari suatu kursus dengan menonton *video* atau presentasi di mana *video* atau presentasi tersebut tidak memiliki elemen dari *game*. Setelah pelajar tersebut melakukan hal tersebut, pelajar tersebut mendapatkan *reward* ataupun poin.

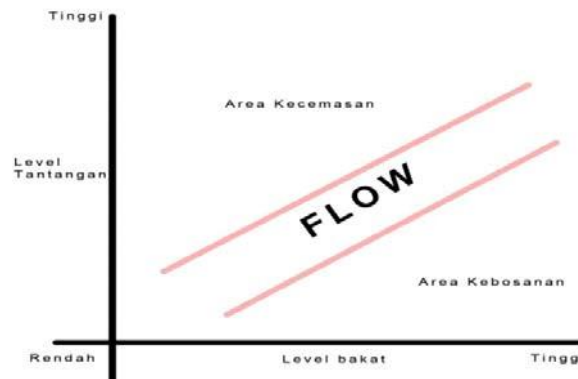
1.2.3 Content Gamification

Content Gamification atau gamifikasi isi adalah penerapan elemen dari *game* dengan mengubah isi/isi menjadi lebih *game-like*.

Sebagai contoh, memasukkan cerita dalam *content* atau pembelajaran berupa memberikan tantangan/*quests* daripada memberikan daftar tujuan. Menambahkan elemen – elemen ini tidak membuat *content* menjadi sebuah *game*. Melainkan hanya menyediakan konteks atau aktivitas yang digunakan pada *game* kemudian ditambahkan pada *content* yang akan diajarkan.

1.2.4 Motivasi Pemain

Dalam *gamified system*, *player* ataupun pemain merupakan basis dari keberhasilan sistem. Motivasi dari pemain menentukan hasil dari sistem. Untuk memotivasi pemain ada istilah yang disebut sebagai *flow* atau aliran bisa dilihat pada gambar 1. Menurut Zichermann dan Cunningham (2011), pengertian *flow* diambil dari penelitian Mihaly Csikszentmihaly, yaitu di mana kondisi dari pemain berada di antara garis batas cemas dan bosan. Contohnya di mana seorang atlet lari sedang berlatih untuk lomba, pelari tersebut berada pada keadaan tetap. Dia berada pada keadaan yang tenang dan terfokus. Desainer dari *game* terfokus untuk membuat pemain berada pada kondisi tersebut.



Gambar 1. *Flow* didapat saat pemain di antara area kebosanan dan area kecemasan (Zichermann dan Cunningham 2011)

Adapun *reinforcement*, di mana sistem memberikan *reward* kepada pemain dengan memberikan kuantitas yang bervariasi ataupun bervariasi waktunya untuk mendapatkan *reward*. Terbagi atas empat, yaitu *fixed-interval reinforcement*, *varied-interval reinforcement*, *fixed-ratio reinforcement*, dan *varied-ratio reinforcement*. Perbedaan dari *varied reinforcement* dan *fixed reinforcement* adalah mendapatkan *reward*, di mana *reward* dari *fixed* tetap sama, tetapi *reward* dari *varied* berubah – ubah. Sedangkan untuk *interval* dan *ratio*, perbedaan *reward* terdapat dari skala pengukuran waktunya, di mana skala dengan *ratio* dihitung dari nol dan *interval* dihitung dari antara 2 nilai. Sebagai contoh untuk *fixed-ratio*, jika pekerja diberikan gaji yang tetap, maka pekerja tersebut akan melakukan pekerjaannya dengan cara yang sama karena *reward* yang akan diberikan tetap sama walaupun pekerja tersebut mengubah caranya. Contoh yang berikutnya yaitu *varied-ratio*, jika seorang anak tidak diberitahukan apa yang akan didapatkannya jika dia bisa menghitung, maka anak tersebut akan berusaha untuk belajar berhitung untuk mendapatkan *reward* yang dijanjikan sehingga ada kemungkinan mempercepat proses belajar berhitung anak tersebut. Aplikasi yang akan dibuat menggunakan *varied-interval reinforcement* dan *fixed-interval reinforcement*.

1.2.5 Game Mechanics

Ada beberapa fitur dalam mekanisme *game*, bila digunakan dengan baik, akan mendapatkan respons yang baik dari pemain. Menurut Zichermann dan Cunningham (2011) terdapat 8 elemen dari *game* yang digunakan, yaitu:

1. *Points*: Salah satu hal yang penting dalam *gamified system*. *Points* atau poin sebagai nilai untuk mendapatkan suatu *achievements*. Bila *points* dari pemain mencapai suatu titik, maka pemain tersebut mendapatkan *achievement*. Beberapa pola dari *points* yaitu *Experience points*, *Redeemable points*, *Skill points*, *Karma points*, dan *Reputation points*.
2. *Level*: *Level* menunjukkan perkembangan dari seorang pemain dengan membuka beberapa fitur dan menambahkan tantangan untuk pemain. *Level* dihitung dari *Experience points* yang didapat. *Level* tidak harus selalu *linear*, dengan kata lain, untuk menaiki *level* pertama tidak perlu mendapatkan 100 *experience points*, ataupun untuk menaiki *level* 2 tidak harus dengan syarat harus mendapatkan 200 *experience points*.
3. *Leaderboard*: bertujuan menunjukkan perbandingan antar pemain. *Leaderboard* ini dapat memunculkan kompetisi dan keaktifan antar pemain di mana pemain dengan skor tertinggi ataupun dengan *badges* tertinggi diperlihatkan pada *Leaderboard*.
4. *Badges*: menunjukkan apa yang telah didapatkan dari pemain seperti halnya *achievements*. *Badges* ini didapatkan jika suatu pemain melakukan kondisi tertentu seperti melakukan *challenges*. Contohnya, seorang seniman mendapatkan juara favorit dalam suatu lomba menggambar, kemudian mendapatkan piala dengan kategori juara favorit. Piala tersebut menjadi *badges* untuk pemain sebagai *history* yang pernah didapakkannya sehingga dapat memotivasi pemain untuk lebih aktif.
5. *Challenges and quests*: memberikan tantangan kepada pemain ataupun memberikan arahan kepada pemain untuk apa yang akan dilakukan.
6. *Onboarding*: adalah membuat pemain pemula untuk masuk dalam sistem. Seperti halnya membuat pemain pemula untuk mengerti cara kerja sistem dan untuk berkembang dalamnya.
7. *Social Engagement Loops*: membuat pemain untuk lebih termotivasi dengan menggunakan basis sosial media sehingga pemain dapat bermain secara berulang – ulang.
8. *Customization*: *Customization* atau kustomisasi terdapat pada banyak bentuk. Contohnya pembuatan *avatar* atau *dress-up* pada karakter sesuai dengan keinginan pemain seperti halnya *role-playing games*. Kustomisasi ini sebagai suatu ‘*personality*’ bagi pemain. Membedakan suatu pemain dengan pemain yang lain selain dari *level* dan *achievements*.

1.2.6 Gamifikasi dan Edukasi

Edukasi berpengaruh terhadap tiap orang. Pada zaman sekarang, edukasi pada setiap tingkat (*Gamification of Education*), dapat diberikan dengan 2 mekanisme, yaitu *Instructor – led* dan *Computer – led*.

1. *Instructor – led*: Keuntungan dari *Instructor – led* yaitu lebih interaktif. Seseorang dapat bertanya langsung dan dapat juga langsung dijawab dan berpotensi terjadinya diskusi kelompok. Kekurangannya yaitu keefektifan dari pengertian pelajaran tergantung dari pengajar. Jika pengajar tidak dapat melibatkan pelajar, maka isi yang diberikan oleh pengajar menjadi datar dan tidak menarik. Adapun yang menjadi kekurangan yaitu, materi yang diberikan pengajar langsung bisa menjadi sangat mahal terutama jika ada hubungannya dengan karir.
2. *Computer – led*: Keuntungan dari *Computer – led* yaitu lebih terjangkau dan seseorang dapat belajar berdasarkan dari waktu pelajar tersebut. Kekurangannya berada pada kurangnya interaktivitas dan kurangnya penukaran ide dan informasi. Gamifikasi dapat bekerja dengan menggabungkan dua mekanisme tersebut untuk pelajaran. Dapat menonjolkan pengalaman antar pelajar dan pengajar dengan mengenalkan interaktivitas dan praktek. Dengan itu, dapat mengurangi beban dari pengajar dan dapat membuat pelajar termotivasi dan terlibat dalam sistem tersebut. Walaupun ini membahas tentang gamifikasi di bidang edukasi, gamifikasi dapat diterapkan di bidang bisnis, *customer loyalty*, dan perekrutan. Contohnya yaitu pada penggunaan gamifikasi Samsung *Nation* untuk membuat *customer* lebih setia dengan cara berpartisipasi pada tanya jawab antar pengguna, *review* produk, dan berinteraksi dengan sesama *customer*. Dengan melakukan partisipasi tersebut, pelanggan mendapatkan *badges* atau *rewards* serta dapat melihat *progress* mereka.

1.3 Metodologi Penelitian

Tahapan metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Identifikasi Masalah

Mengidentifikasi permasalahan yang berhubungan dengan tulisan untuk menentukan latar belakang dalam pembuatan aplikasi, kegunaan yang dapat ditawarkan, dan menentukan siapa saja yang menjadi pengguna aplikasi.

b. Penentuan Tujuan

Menentukan tujuan pembuatan tulisan dari latar belakang yang telah dibuat.

c. Studi Pustaka

Mempelajari teori – teori yang berhubungan dengan Penulisan. Contohnya seperti teori

Gamifikasi, *basic game mechanics*, *related works*, dan kakas dalam pembuatan aplikasi. Studi\ pustaka akan dilakukan pada *e-book*, buku, jurnal, dan artikel Internet.

d. Analisis dan Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk melengkapi kebutuhan dan kelengkapan informasi yang akan disajikan pada aplikasi. Data yang akan dikumpulkan berupa penerapan gamifikasi pada mata kuliah, materi dalam mata kuliah dan sistem pengajaran pada mata kuliah yang bersangkutan. Metode untuk memperoleh data tersebut dilakukan dengan cara wawancara. Tahap ini dibuat sesuai dengan fase yang ada pada metodologi pengembangan perangkat lunak *Evolutionary Prototyping* yaitu fase identifikasi kebutuhan dan desain abstrak.

e. Perancangan

Perancangan dilakukan untuk menentukan bagaimana cara kerja aplikasi berdasarkan diagram

Unified Modelling Language (UML), dan tampilan antarmuka aplikasi. Tahap ini dibuat sesuai dengan fase yang ada pada metodologi pengembangan perangkat lunak *Evolutionary*

Prototyping yaitu fase identifikasi kebutuhan dan desain abstrak.

f. Implementasi

Mengimplementasikan hal yang dijelaskan pada tahap analisis dan perancangan dengan cara menggunakan kakas pembuat aplikasi. Tahap ini dibuat sesuai dengan fase yang ada pada metodologi pengembangan perangkat lunak *Evolutionary Prototyping* yaitu fase Pembangunan Sistem *Prototype* Pertama.

g. Pengujian

Menguji aplikasi yang telah dibuat untuk mengetahui apakah aplikasi mudah untuk digunakan, fitur yang dibuat telah berjalan dengan baik, dan lain-lain. Kemudian dilakukan kembali ke Pembangunan Sistem *Prototype* jika adanya perubahan. Tahap ini dibuat sesuai dengan fase yang ada pada metodologi pengembangan perangkat lunak *Evolutionary Prototyping* yaitu fase Verifikasi, Evaluasi, Pengujian, dan Perubahan.

h. Rekomendasi Perbaikan

Mengumpulkan rekomendasi untuk perbaikan yang perlu dilakukan pada aplikasi berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengujian.

2. PEMBAHASAN

2.1 Deskripsi Umum Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang akan dibuat yaitu untuk meningkatkan motivasi mahasiswa untuk mengikuti materi dan belajar pada suatu mata kuliah. Aplikasi Gamifikasi Mata Kuliah adalah aplikasi yang dapat diterapkan pada ruangan kelas suatu mata kuliah yang dapat memantau kinerja dan motivasi mahasiswa dan menilainya pada saat akhir semester. Karena aplikasi yang akan dibuat menggunakan *varied-interval reinforcement*, Penilaian paling akhir untuk mahasiswa bersifat subjektif atau tidak bergantung dari penilaian aplikasi, melainkan penilaian dari dosen yang bersangkutan dalam penerapan aplikasi ini.

2.2 Spesifikasi Kebutuhan

1. Aplikasi dapat membantu mahasiswa untuk lebih terlibat pada mata kuliah
2. Aplikasi dapat memperlihatkan hasil *progress* dari mahasiswa.
3. Aplikasi dapat memberikan penilaian berdasarkan fitur penghitungan *points*.
4. Aplikasi dapat digunakan untuk mata kuliah lainnya.

2.3 Analisis Pengguna

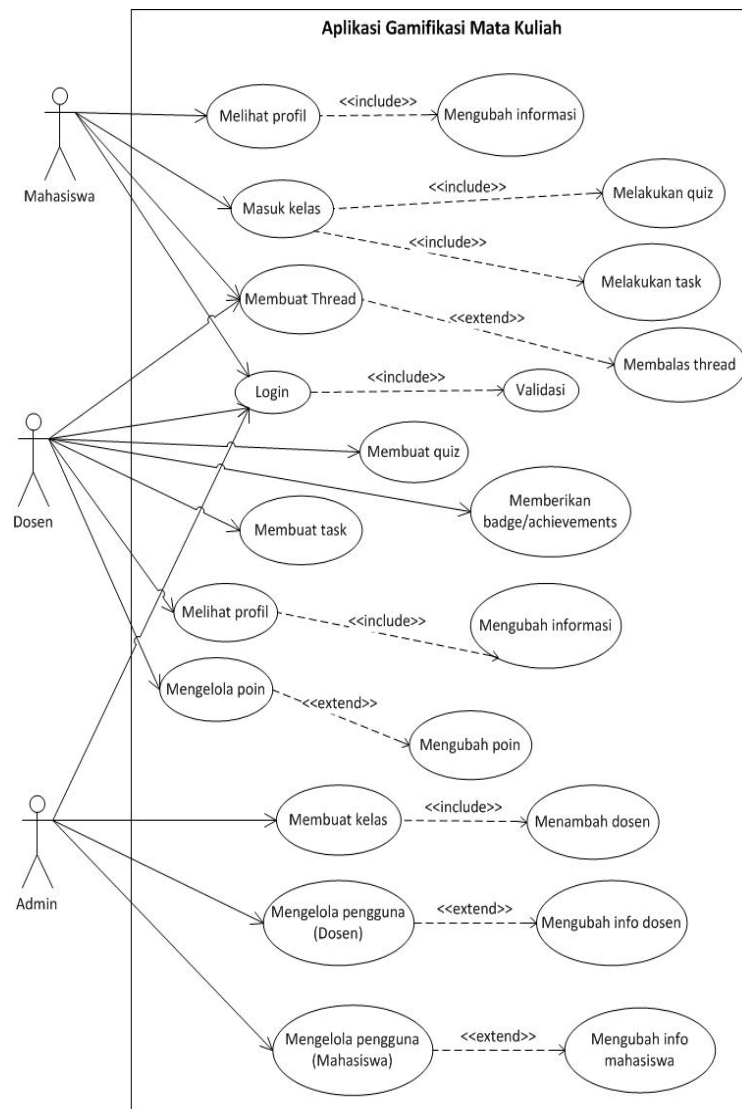
Tabel 1. Analisis Pengguna

No.	Pengguna	T
1.	Admin	Mengatur dan mengubah data dari dosen ataupun mahasiswa, mengganti status mahasiswa ataupun dosen menjadi aktif/non-aktif serta informasi lainnya.
2.	Dosen	Membuat <i>tasks</i> , <i>quiz</i> , melihat <i>progress</i> dari mahasiswa, dan menentukan

No.	Pengguna	Tugas
3.	Mahasiswa	Mendaftar untuk masuk kelas, mengerjakan <i>task</i> atau <i>quiz</i> untuk mendapatkan <i>points</i> , mendapatkan <i>badges</i> / <i>achievements</i> berdasarkan yang telah diberikan dosen, dan melihat perkembangan apa yang telah

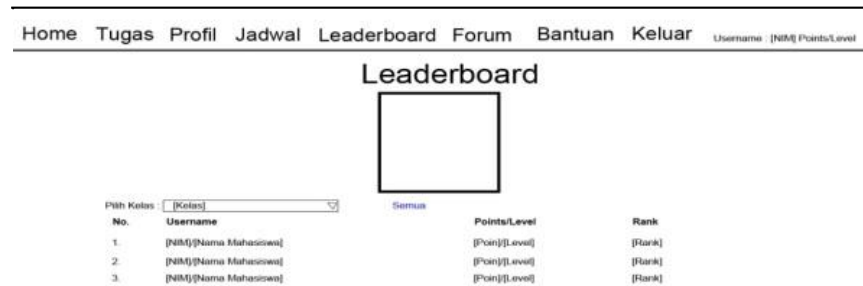
2.4 Use Case Diagram

Gambar 2 merupakan diagram Use Case menunjukkan sifat dan interaksi dalam sistem.



Gambar 2. Use Case Diagram

2.5 Rancangan Antarmuka



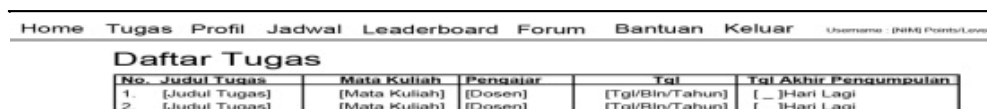
Gambar 3. Halaman *Leaderboard*

Gambar 3 diakses melalui *navigation bar* *Leaderboard* yang di atas. Mahasiswa dapat melihat peringkat dari kelas berdasarkan dari *points* yang didapatkan. Semakin tinggi poin dari mahasiswa dalam kelas tersebut, semakin ke atas peringkat dari mahasiswa tersebut dalam *Leaderboard*. Penerapan *gamifikasi* dengan elemen *game* *Leaderboard* terdapat pada halaman ini.



Gambar 4. Halaman Profil Mahasiswa

Gambar 4 diakses melalui *menu* Profil yang di atas. Mahasiswa dapat melihat *progress* beserta informasi dan daftar *badges* yang telah dicapai. Mahasiswa juga dapat mengubah informasi dari akun. *Leveling* berada pada tiap 1000 poin. Contohnya, jika mahasiswa mencapai poin 2000 maka mahasiswa tersebut masuk *level 2*, jika mencapai poin 3000 maka mahasiswa tersebut masuk *level 3* dan seterusnya. Penerapan *gamifikasi* dengan elemen *game* *Leveling* dan *Points* terdapat pada halaman ini di bagian kanan atas. *Customization* juga di mana mahasiswa dapat mengubah informasinya. Mahasiswa tidak bisa mengubah mata kuliah yang telah dikontrak.



Gambar 5. Halaman Daftar Tugas

Gambar 5 diakses dari *navigation bar* Tugas. Halaman ini memperlihatkan seluruh tugas/*homework* di kelas yang diajar oleh dosen tersebut.

2.6 Lingkungan Implementasi

Bagian ini membahas teknis rancangan perangkat lunak yang meliputi hardware dan software yang digunakan untuk implementasi

Tabel 3. Spesifikasi hardware dan software implementasi

Perangkat Keras	Spesifikasi Komputer : 1. Prosesor :Intel Core i3 2.20 GHz 2. Memori :4 GB RAM 3. Penyimpanan : 500 GB HDD 4. Kartu Grafis : Nvidia Geforce GT 630M 5. Lainnya : Lavar dengan resolusi 1366 x 768, Mouse, Keyboard
Perangkat Lunak	1. Sistem Operasi : Microsoft Windows 7 64-bit 2. Browser : Google Chrome versi 51.0.2704.106 3. DBMS : MySQL Server 5.5 4. Web Development Toolkit : Adobe Dreamweaver CS5.5 & Notepad++ v6.5.5 5. Local Web Server : XAMPP v3.2.2

2.7 Implementasi Modul Program

Bagian ini membahas tentang modul program dan penggunaannya dengan menggunakan bahasa pemrograman PHP 5.5 dan JavaScript. Berikut ini adalah beberapa kode pemrograman dalam *file*.

Tabel 4. Implementasi Modul Program

<i>File</i>	Deskripsi
outputtest.php	Memproses <i>input</i> dari kuis 'Pilihan' / <i>Multiple choice-based questions</i> dan menambahkannya ke dalam basis data.
mhs_home.php	<i>Homepage</i> dari mahasiswa yang menunjukkan <i>stats</i> dari mahasiswa tersebut.
leaderboard.php	Halaman peringkat mahasiswa. Poin yang tertinggi berada pada baris pertama.
mhs_proc_kuis	Memproses <i>input</i> dari jawaban <i>multiple choice-based questions</i> dari mahasiswa dan menghitung nilai yang didapatkan oleh mahasiswa serta menambahkannya pada basis data.
dsn_form_tugas.php	Memproses <i>input</i> pembuatan tugas dari dosen dan menambahkannya ke dalam basis data.
tugas_rinci.php	Memperlihatkan mahasiswa – mahasiswa yang telah memasukan tugas dan dosen dapat menilai tugas – tugas yang telah dimasukkan tersebut.
mhs_levelmonitor.php	Mengamati perkembangan dari <i>points</i> . Jika <i>points</i> telah sampai di nilai tertentu, menaikkan level dengan menambahkan
mhs_rank.php	Mengambil <i>record</i> dari <i>level</i> untuk ditambahkan menjadi <i>rank</i> dari mahasiswa.

2.8 Implementasi Antarmuka

Implementasi antarmuka yang dibuat diambil dari storyboard sebelumnya. Storyboard dengan hasil implementasi antarmuka bisa saja tidak sama. Implementasi antarmuka berikut yang ditunjukkan adalah fungsi – fungsi utama dalam aplikasi. Fungsi seperti pengubahan data, perlihatkan data, dan pembahasan tentang menu tidak termasuk dan tidak ditunjukkan.

Gambar 6. Halaman Pembuatan Pertanyaan Kuis

Gambar 6 menunjukkan halaman pembuatan pertanyaan kuis dengan pertanyaan berbasis *multiple-choice*. Dosen dapat membuat pertanyaan sebanyak sepuluh kali.

No.	Judul Tugas	Mata Kuliah	Pengajar	Tgl	Tgl Akhir pengumpulan	Tgs yg lkn diakhir
1	Tugas 1 Sistem Multimedia	Sistem Multimedia	Escobar Sumampow, ST.	15-Jul-2016	2016-07-16	0
2	Multimedia 2	Sistem Multimedia	Escobar Sumampow, ST.	15-Jul-2016	2016-07-19	1

Gambar 7. Halaman Daftar Tugas

Multimedia 2

Dari 15-Jul-2016 sampai dengan 19-Jul-2016

Masukan Laporan matakuliah tentang Multimedia.

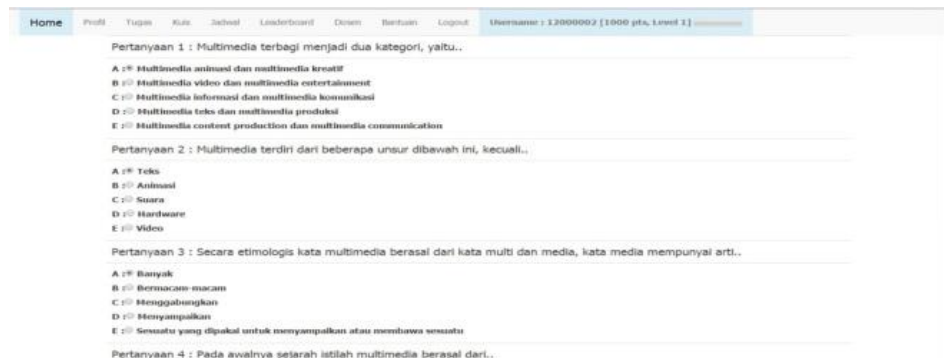
Daftar Mahasiswa yang telah memasukkan tugas:

No.	Username	Nama	Tanggal	File	Pemberian nilai
1	12013072	Escobar Sumampow	2016-07-15	tugas/tasifile_Escobar Sumampow20160715-LAMPFRAN A.docx	400

Masukan nilai

Gambar 8. Halaman terperinci dari Tugas

Gambar 7 menunjukkan daftar tugas yang telah dibuat oleh dosen. Dosen dapat melihat lebih rinci tentang daftar tugas dan mahasiswa yang telah memasukkan tugas seperti pada Gambar 8 dengan menekan tombol tautan judul tugas pada halaman daftar tugas.



Gambar 9. Halaman Jawab Kuis

Sebagai pengguna Mahasiswa, halaman pada Gambar 9 dimana mahasiswa menjawab kuis yang dibuat oleh dosen. Setiap jawaban yang benar menambahkan nilai 100 kepada mahasiswa.

2.9 Analisis Hasil Pengujian

1. Berdasarkan hasil pengujian dengan *Black Box Testing*, bisa disimpulkan bahwa fungsi utama telah berjalan dengan baik dengan *input* sesuai syarat dari *fields* dan *output* yang sesuai dengan ekspektasi.
2. Berdasarkan hasil pengujian yang dijalankan dengan *User Acceptance Test* (UAT) kepada mahasiswa dan dosen, bisa disimpulkan bahwa:
 1. Semua fungsi dan fitur dari aplikasi telah berjalan dengan baik.
 2. Pengguna merasa bahwa aplikasi ini perlu ditambahkan fitur – fitur lainnya.
 3. Pengguna merasa cukup puas dengan antarmuka dari aplikasi.
 4. Semua pemasukan data dan perubahan data telah sesuai dengan data yang dimasukkan.
3. Berdasarkan hasil pengujian yang dijalankan dengan *System Usability Scale* (SUS) kepada mahasiswa dan dosen, bisa disimpulkan bahwa:
 1. Rata – rata pengguna mahasiswa memberikan hasil ‘Netral’ apakah sistem ini akan digunakan. Dosen memberikan hasil ‘Sangat Setuju’ dalam menggunakan sistem ini.
 2. Pengguna menemukan sistem ini tidak kompleks dan mudah untuk digunakan
 3. Rata – rata pengguna ‘Setuju’ dan ‘Netral’ bahwa banyak orang dapat belajar dengan cepat dalam menggunakan sistem ini.
 4. Rata – rata pengguna menemukan bahwa sistem ini tidak rumit untuk digunakan.
 5. Pengguna menemukan bahwa sistem ini konsisten.

3. KESIMPULAN

Berdasarkan dari pembuatan dapat disimpulkan, sebagai berikut:

1. Aplikasi berjalan dengan baik berdasarkan hasil pengujian *black box*.
2. Semua elemen *game* berdasarkan dari *form* SUS yang dilakukan telah diterapkan dalam aplikasi telah berfungsi.
3. Konsep gamifikasi telah diterapkan pada aplikasi yaitu melalui elemen – elemen *game* yang diterapkan (*Points*, *Badges*, *Leaderboard*, *Customization*, dan *Social Engagement Loops*).
4. Aplikasi ini dapat diterapkan secara *online*, dengan kata lain, pembuatan sebuah *online classroom*.

PUSTAKA

- Chou YK. 2013. *Gamification in Education: Top 10 Gamification Case Studies that will Change our Future*, (Online), (<http://yukaichou.com/gamification-examples/top-10-education-gamification-examples/#.VwHeovl97IU>, diakses 03 April 2016).
- Kapp K. M., Balir L., Mesch R. 2013. *The Gamification of Learning and Instruction Fieldbook: Ideas into ractice* (1st edn). San Fransisco: Pfeiffer.
- Yohannis A. R., Prabowo D., Waworuntu A. 2014. *Defining gamification: From lexical meaning and process viewpoint towards a gameful reality*. Information Technology Systems and Innovation (ICITSI): 284-289.
- Zichermann G., Cunningham C. 2011. *Gamification by Design* (1st edn). 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol: O'Reilly Media.

DEVELOP SMART ENVIRONMENT GOVERNANCE THROUGH SOCIETY PERCEPTION CHANGE BASED ON GOOGLE FORM APPLICATION

N. Tri Suswanto Saptadi¹, Ferdinandus Sampe²

¹Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Atma Jaya Makassar

²Jurusan Manajemen, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Atma Jaya Makassar

¹ntsaptadi@yahoo.com, ²ferdi_sampe@yahoo.com

ABSTRAK

Digital era has changed Makassar City Government paradigm on contribution of Information Technology for good governance in order to provide faster, better and accurate governmental service. The ICT enables smart city governance which leads to increasing society's participation and information flow among governmental interaction officers to receive information, analyse it and then decide to solve society's problem faster, easier and more accurate. Makassar Major has promulgated Makassar as a clean and tidy city. Makassar Smart City Concept is expected to drive society's and governmental officers' participation to use data application to provide suggestion and feedback easily using Google Form application. Makassar Government has innovated to improve city cleanliness by reconstructing opinion and society perception change on concern and love of cleanliness. Many Makassar citizens, however, have not understand and even aware of the Gemar MTR (Makassar Tidy Society Movement) program and how to execute the program. Consequently, the program has not effectively change Makassar Society opinion and pattern of behaviour on environmental cleanliness toward Smart Environment. The study was conducted to identify Makassar citizen's opinion on smart city program. Data were collected using web-based survey and as many as 120 respondents participated. Data analysis reveals that 101 (84%) of the respondents want the smart city concept be applied to develop Makassar city toward a sustainable city.

Key words: perception, society, makassar, smart environment, google form

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Era globalisasi telah mampu merubah paradigma pemerintah terhadap tata kelola informasi yang cepat, tepat, akurat dan baik kepada masyarakat yang membutuhkan layanan informasi. Saat ini tengah berkembang konsep *smart city*, dimana kota-kota besar di Indonesia sudah mulai menerapkan konsep tersebut, namun masih belum mencapai seutuhnya. Salah satu dimensi terpenting dari *smart city* adalah bahwa kota saat ini seharusnya memberikan pelayanan yang menggunakan teknologi terkini dan membangun infrastruktur yang pintar, sehingga dapat memberikan pelayanan yang efektif dan murah kepada seluruh masyarakat yang tinggal di kota (Sudaryono, 2014).

Konsep *Smart City* (kota cerdas) juga dapat meningkatkan partisipasi masyarakat dan pemerintahan dalam memanfaatkan data aplikasi, dan memberikan masukan maupun kritikan secara mudah. Sejalan dengan pengembangan *smart city* di Indonesia yang disampaikan oleh Direktur Perkotaan dan Pedesaan Kementerian PPN/Bappenas dalam suatu acara Konferensi *e-Indonesia Initiative* (eII) dan *Smart Indonesia Initiatives* (SII) Forum ke-1 di Bandung, 15 Oktober 2015, bahwa urbanisasi tengah terjadi dari desa ke kota dari tahun ke tahun yang menunjukkan angka cukup signifikan. Berdasarkan data BPS tahun 2014, jumlah penduduk tahun 2005: perkotaan 48,39% dan pedesaan 51,61%, tahun 2010: perkotaan 54,19% dan pedesaan 45,81%, tahun 2015: perkotaan 59,35% dan pedesaan 40,65%, dan diprediksi tahun 2020: perkotaan 63,84% dan pedesaan 36,16%.

Makassar merupakan kota yang mencanangkan program menuju kota yang bersih. Pemerintah kota (Pemkot) telah melakukan inovasi dalam menangani masalah kebersihan dengan mencoba merekonstruksi pemikiran masyarakat untuk cinta dan peduli terhadap kebersihan. Untuk merealisasikan hal itu maka Pemkot membuat sebuah program *Gerakan Makassar Ta tidak Rantasa (Gemar MTR)* yang bertujuan untuk merubah pola pikir masyarakat agar cinta bersih dan selalu hidup sehat. Dalam menjalankan program tersebut, Walikota Makassar telah membuat Surat Keputusan berupa instruksi kepada SKPD dan Kecamatan se-kota Makassar utamanya Dinas kebersihan agar melaksanakan program yang mendukung MTR. Namun demikian masih banyak masyarakat yang belum tahu, apa sebenarnya yang dimaksud dengan Gemar MTR dan bagaimana konsep pelaksanaannya, sehingga hal tersebut belum berdampak optimal terhadap perubahan pola pikir masyarakat tentang kebersihan lingkungan. Dalam

pandangan tersebut keberadaan program yang tidak memiliki dasar kebijakan yang tidak jelas, dikhawatirkan tidak akan terealisasi dengan maksimal karena ada proses yang tidak berkesinambungan dalam perumusan program pemerintah kepada masyarakat. Terutama belum secara maksimal memanfaatkan pada pendekatan *green technology*. Undang-undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan sampah menyebutkan bahwa pemerintah daerah memiliki wewenang untuk mengelolah sampah di daerah masing-masing. Permen PU No. 21/PRT/M/2006 berisi pengurangan volume sampah melalui program 3R (*reduce, reuse, recycle*) dan *Extended Producer Responsibility* (EPR). Sampah yang tidak dikelola dengan baik dapat mencemari lingkungan dan membuat air menjadi kotor sehingga mengganggu kesehatan di sekitar pemukiman masyarakat. Untuk dapat menjangkau persebaran responden di 14 kecamatan di kota Makassar, maka penelitian menggunakan aplikasi *Google Form* dengan perangkat *smartphone*.

1.2 Permasalahan

Konsep yang dituangkan dalam Program *Smart City* merupakan program solutif untuk menjadikan Makassar lebih baik dan bersih. Namun demikian agar dapat merubah pola pikir masyarakat dan memiliki dasar kebijakan yang jelas, maka perlu kiranya mengetahui efektifitas pelaksanaan konsep *Smart City*, dan mengetahui pendapat (persepsi) masyarakat mengenai *Smart Environment* serta bagaimana konsep tata kelola *Smart City* dapat diterapkan di Kota Makassar untuk menjadikan Makassar menjadi kota dunia dalam mengembangkan tata kelola sampah dan limbah (*waste*).

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian awal bertujuan untuk mengetahui persepsi masyarakat terhadap efektifitas penerapan konsep tata kelola *Smart City* di Makassar dengan melibatkan responden yang berasal dari warga masyarakat sehingga menghasilkan inovasi model tata kelola *Smart City* untuk program kota makassar dengan jargon Makassar Ta tidak Rantasa yang merupakan dimensi *Smart Environment*.

1.4 Tinjauan Pustaka

Kota Makassar memiliki istilah "*Sombere*" yang mencerminkan perilaku yang penuh kesopanan dan menjunjung tinggi etika tata krama dan budaya lokal serta penghargaan tinggi (*highest hospitality*) kepada setiap orang, baik sebagai tamu atau seorang yang baru dikenal maupun kepada keluarga dalam melakukan interaksi sosial. *Sombere* juga dapat diartikan sebagai simbol atau bentuk keramahmatan dalam melakukan interaksi sosial dengan masyarakat sekitarnya. *Sombere* juga dapat digambarkan sebagai sikap kekeluargaan atau sikap untuk menerima seutuhnya (*totally*). (Kominfo Makassar, 2017)

Definisi atau pengertian *Smart City* (kota pintar) sangat beraneka ragam. Konsep tersebut sudah dikenal dengan populer, namun dalam praktiknya digunakan di berbagai negara dengan istilah yang berbeda dan situasi yang berbeda pula. Ada penggunaan berbagai jenis konsep mengganti *Smart* dengan istilah kata sifat lainnya. *Smart City* adalah visi pembangunan perkotaan untuk mengintegrasikan beberapa *Information Computer of Technology* (ICT) dan solusi *Internet of Things* (IOT) dalam sebuah bentuk yang aman untuk mengelola aset kota. Definisi dari *smart city* itu begitu luas sehingga mencakup berbagai macam keseluruhan teknologi digital yang dapat meningkatkan kualitas kehidupan, mengurangi biaya dan sumber konsumsi, serta dapat meningkatkan interaksi aktif antara kota dan warganya secara efektif (Chandra, 2016).

Kota-kota yang disebut *Smart City* adalah kota yang pada awalnya memiliki terobosan baru dalam penyelesaian-penyelesaian masalah di kota, dan sukses meningkatkan performa kota (Widyaningsih, 2013). Perkembangan konsep *Smart City* memang membawa pemahaman yang lebih dikenal dalam hal teknologi. Hal ini tidak salah jika dalam penerapannya tetap melihat aspek lain yang juga dibutuhkan oleh sebuah kota pada umumnya, yang kemudian aspek-aspek tersebut diperhatikan sebagai satu kesatuan yang menyeluruh hingga dapat disebut sebagai kota cerdas.

Cohen (2011) menyebutkan bahwa *smart city* diidentifikasi pada 6 (enam) dimensi utama, yaitu: *smart government* (pemerintahan cerdas), *smart economy* (ekonomi cerdas), *smart society* (kehidupan sosial cerdas), *smart mobility* (mobilitas cerdas), *smart environment* (lingkungan cerdas), dan *quality of live* (hidup berkualitas). Pengertian dari dimensi mobilitas cerdas sebagai salah satu dimensinya, yaitu mobilitas cerdas pada sebuah kota cerdas lebih menekankan pada pergerakan dan akses yang mudah bagi masyarakat. Hal tersebut dijamin oleh kemampuan inovatif dan berkelanjutan dari transportasi umum serta penggunaan kendaraan dengan dampak lingkungan yang rendah (Alberti, Elisa, 2011). Beberapa contoh penerapan konsep *Smart City*, yaitu *E-Government*, *E-Budgeting*, *E-Wadul* di Surabaya, *Jakarta Smart City Website*, *Command Center* di Bandung, *E-Village* di

Banyuwangi, Portal Pengadaan Nasional oleh INAPROC, dan Layanan *Paspor Online* oleh Dirjen Imigrasi RI. (Utomo, 2016).

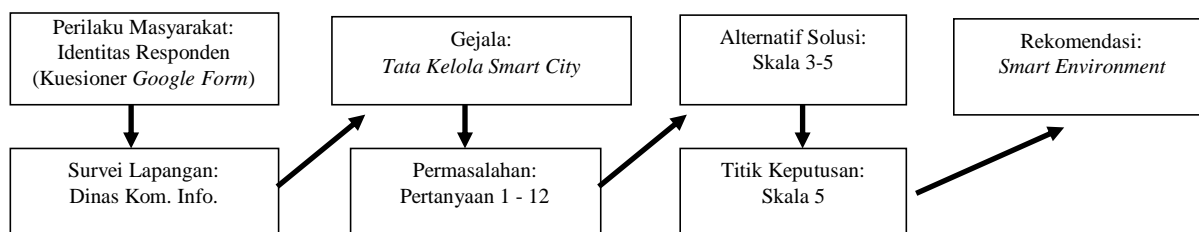
Tata kelola adalah seperangkat mekanisme yang digunakan untuk mengelola hubungan di antara *stakeholder* dalam konteks untuk memberikan batasan dan arahan maupun kinerja pemerintah. Tata kelola teknologi informasi (Bahasa Inggris: *IT governance*) adalah suatu cabang dari tata kelola organisasi yang terfokus pada sistem teknologi informasi (TI) serta manajemen kinerja dan risikonya. Menurut *The Indonesian Institute for Corporate Governance* (IICG) Tata kelola adalah proses dan struktur yang ditetapkan dalam menjalankan organisasi, dengan tujuan utama meningkatkan nilai pemegang saham dalam jangka panjang, dengan tetap memperhatikan kepentingan *stakeholders* lain. Dalam pelaksanaan tata kelola menghubungkan pemerintah dan masyarakat, sehingga dibutuhkan suatu model yang memanfaatkan *smart city*. Pemerintah memiliki peran penting sebagai regulator untuk membangun dan menciptakan tata kelola *smart city*.

Smart Environment merupakan salah satu dimensi dari *Smart City* yang terdiri dari *Smart Governance* (tata kelola pemerintahan), *Smart Mobility* (transportasi, infrastruktur teknologi), *Smart Branding* (tata ruang kota, daya saing), *Smart Economy* (kesejahteraan, ekosistem, iklim perekonomian, badan usaha), dan *Smart Living* (tempat tinggal, pendidikan, sampah, pelayanan), *Smart Society* (ekosistem sosio-teknis, pengangguran, jaminan sosial keluarga), *Smart Environment* (lingkungan). Visi kota Makassar periode masa jabatan 2014-2019 adalah “Makassar Kota Dunia yang Nyaman Untuk Semua.” Visi tersebut memiliki konsistensi dengan visi Kota Makassar 2005-2025, khususnya pada penekanan “*orientasi global*”, dalam RPJMD dirumuskan sebagai “kota dunia”. Penekanan berwawasan lingkungan dan paling bersahabat. Pokok visi “kota maritim, niaga, pendidikan, budaya dan jasa” pada visi dalam RPJPD 2014-2019 ditempatkan sebagai bagian dari substansi “kota dunia.” Dihubungkan dengan visi Pemerintah Provinsi Sulawesi Selatan 2018, relevansi visi Pemerintah Kota Makassar 2014-2019 terletak pada posisi “Makassar kota dunia yang nyaman untuk semua” yang merupakan bagian penting dari terwujudnya “Sulawesi Selatan sebagai Pilar Utama Pembangunan Nasional dan Simpul Jejaring Akselerasi Kesejahteraan pada Tahun 2018” (Kominfo, 2017).

1.5 Metodologi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kota Makassar yang terdiri dari 14 kecamatan, yaitu: Biringkanaya, Bontoala, Makassar, Mamajang, Manggala, Mariso, Panakukang, Rappocini, Tallo, Tamalanrea, Tamalate, Ujung Pandang, Ujung Tanah, dan Wajo. Penelitian dilakukan mulai bulan Januari-Juni 2018. Responden yang terlibat berasal dari masyarakat yang tinggal di 14 kecamatan. Instrumen penelitian terdiri dari pengamatan, wawancara, dan pengisian kuesioner secara *online* menggunakan aplikasi *Google Form*. Pertanyaan kuesioner meliputi: Identitas diri responden (nama, jenis kelamin, nomor telepon, email, pendidikan, kecamatan domisili). Pertanyaan ditetapkan berdasarkan harapan pemerintah kota Makassar akan pengembangan dimensi “*smart environment*” (Kominfo Makassar, 2017), yaitu mengembangkan program proteksi lingkungan (*Protection*). Pertanyaan terdiri dari: (1) Pengembangan sistem tata kelola, (2) sistem tata kelola limbah industri, (3) sistem tata kelola limbah dan sampah publik, (4) menjaga keseimbangan ekosistem lingkungan, (5) smart monitoring sampah, (6) masyarakat peduli akan kebersihan, (7) penukaran sampah dengan beras, (8) penyelesaian masalah banjir, (9) pemilahan sampah, (10) armada mobil angkut, (11) tim drainase, (12) sampah permukaan laut (Kominfo, 2017).

Pengukuran menggunakan skala *Likert* (Djaali, 2008), yaitu: skala yang digunakan untuk mengukur persepsi, sikap atau pendapat seseorang atau kelompok mengenai sebuah peristiwa atau fenomena sosial, berdasarkan definisi operasional yang telah ditetapkan oleh peneliti. Fokus penelitian menggunakan skala untuk mengukur persepsi responden terhadap rencana pengembangan tata kelola menuju *smart environment*.



Gambar 1. Kontruksi Tahapan Analisis (Jogiyanto, 2013)

Model Kuesioner menggunakan teknologi informasi berbasis pada aplikasi *Google Forms* yang merupakan aplikasi dari akun *Google* yang bersifat umum, dapat diakses secara *free*, dan berbagai media elektronik. Penggunaan *Google Forms* dipilih dan digunakan agar pengguna dapat membuat *form* yang diakses secara umum dan terjangkau oleh masyarakat di 14 kecamatan kota Makassar. Untuk mengisi *Form* pada *Google Form*, responden perlu memiliki akun *Google* sehingga dapat dikatakan *Form* tersebut bersifat umum. Aplikasi *Google Form* dapat dilakukan melalui komputer, laptop, dan *smartphone*. *Google Forms* dapat membuat dan mengirim survei melalui email atau dengan mengunggahnya secara *online* menggunakan *Google Drive*. Namun, *Google Forms* tidak menyediakan sarana untuk mengunggah pertanyaan ke dalam *Facebook* atau *web* lainnya, melainkan yang dapat diunggah adalah survei yang sudah berupa *link* dan hal tersebut dapat langsung dilakukan dari halaman *form*. *Google Forms* hanya memiliki satu versi layanan, yaitu layanan gratis dengan pengajuan pertanyaan tak terbatas, namun dengan fitur yang terbatas. *Google* memiliki cara untuk memenuhi kebutuhan masyarakat di era modern. Melalui *Google Drive* sebuah fitur yang bisa menyimpan berkas, *Photos* fitur yang berguna untuk manajemen foto, *Google Docs* fitur yang berguna sebagai pengganti *MS Word*, *Google Kalender* fitur yang berguna untuk mengatur jadwal, *Google Form*, fitur yang memiliki layanan untuk mengumpulkan informasi dalam bentuk *form* atau formulir survei atau juga untuk pendaftaran sebuah layanan tertentu. Untuk fitur layanan *Google Form*, *google* menambah inovasi baru yaitu sebuah layanan yang dirancang untuk memudahkan dalam proses validasi data atau informasi.

2. PEMBAHASAN

Hasil pengisian kuesioner secara *online* melalui *Google Form* telah memperoleh informasi mengenai demografi responden berdasarkan jenis kelamin, dan umur.

Demografi Responden

Penelitian yang telah dilaksanakan memperoleh informasi dari responden mengenai:

1. Jenis Kelamin

Tabel 1. Responden berdasar Jenis Kelamin

Jenis Kelamin	Jumlah	Persentase
Laki-laki	78	65
Perempuan	42	35
Total	120	100

Sumber: Data Diolah, 2018

2. Umur

Tabel 2. Responden berdasarkan Umur

Rentang	Tahun Lahir	Jumlah	Persentase
17-25	1993-2001	96	80
26-35	1983-1992	9	8
36-45	1973-1982	11	9
46-55	1963-1972	4	3
	Total	120	100

Sumber: Data Diolah, 2018

Kuesioner Program Proteksi lingkungan

Pertanyaan diajukan kepada responden untuk mengetahui persepsi responden terhadap kemungkinan penerapan tata kelola *Smart Environment*. Kuesioner yang telah diisi oleh responden sebanyak 1.440 jawaban yang terdiri dari 12 pertanyaan dan 120 responden.

Tabel 3. Jawaban Responden Terhadap Tata Kelola Sampah dan Limbah (Waste)

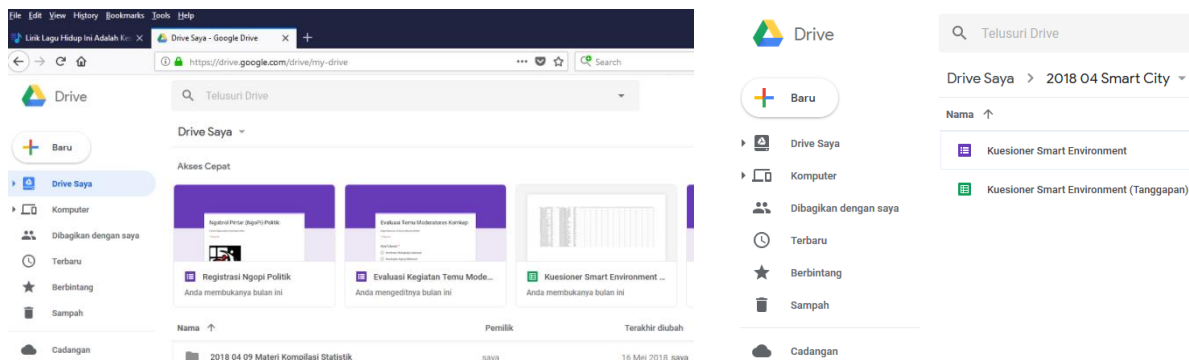
No	Pertanyaan	Skala Penilaian									
		1	%	2	%	3	%	4	%	5	%
1	Pengembangan sistem tata kelola limbah (<i>household</i>)	1	0,8	0	0	6	5	30	25	83	69,2
2	Mengembangkan sistem tata kelola limbah industri (<i>industrial</i>)	1	0,8	1	0,8	9	7,5	26	21,7	83	69,2
3	Mengembangkan sistem tata kelola limbah dan sampah publik (<i>public</i>)	1	0,8	1	0,8	7	5,8	25	20,8	86	71,7
4	Menjaga keseimbangan ekosistem lingkungan agar tidak	1	0,8	0	0	1	0,8	17	14,2	101	84,2

	mengganggu pemandangan, tidak merusak indra penciuman, dan menghindari banjir akibat genangan sampah yang menyumbat saluran-saluran air pembuangan limbah atau sirkulasi air residensial serta ketersediaan sistem sanitasi rumah tangga, industri dan publik yang baik dan bertanggung-jawab.										
5	Pengelolaan, pengumpulan dan pewadahan yang sampah melalui pengembangan program Bank Sampah, Smart Monitoring Persampahan	1	0,8	1	0,8	6	5	30	25	82	68,3
6	Masyarakat peduli akan kebersihan dan semangat melakukan pemilahan dan daur ulang	0	0	1	0,8	10	8,3	23	19,2	86	71,7
7	Program penukaran sampah dengan beras	3	2,5	2	1,7	14	11,7	36	30	65	54,2
8	Penyelesaian masalah banjir dengan menjaga keseimbangan ekosistem lingkungan agar tidak mengganggu pemandangan, tidak merusak indra penciuman, dan menghindari banjir akibat genangan sampah yang menyumbat saluran-saluran air pembuangan limbah atau sirkulasi air residensial serta ketersediaan sistem sanitasi rumah tangga, industri dan publik yang baik dan bertanggung-jawab	1	0,8	1	0,8	2	1,7	29	24,2	87	72,5
9	Pemilahan sampah	0	0	1	0,8	8	6,7	32	26,7	79	65,8
10	Penambahan jumlah armada mobil angkut sampah “ <i>tangkasaki</i> ” dengan pertimbangan rasio antara jumlah sampah masyarakat Kota Makassar dengan jumlah mobil sampah dan personilnya	2	1,7	1	0,8	9	7,5	23	19,2	85	70,8
11	Pembentukan tim drainase dibawah koordinasi Dinas Pekerjaan Umum (PU)	1	0,8	1	0,8	12	10	32	26,7	74	61,7
12	Pembersihan sampah permukaan laut dengan armada perahu angkut dan angkutan sampah kita (<i>pattasaki</i>)	2	1,7	2	1,7	4	3,3	29	24,2	83	69,2
Total		14		12		88		332		994	

Sumber: Data Diolah, 2018

Cara Kerja Google Form

Untuk membuat *form* kuesioner, terlebih dahulu membuat *folder* dan *file* di mana diletakkan *form*. Hal ini perlu dilakukan untuk memudahkan manajemen data secara *online*. Data disimpan di dalam fasilitas layanan *Google Drive*.



Gambar 2. Google Drive

Setelah itu manajemen dengan *Google Drive*, langkah berikut mendesain *form* pengisian identitas responden untuk mengetahui status responden yang terlibat dalam kuesioner *Smart City*. Status tersebut meliputi jenis kelamin, tanggal lahir dan nomor telephone.

Gambar 3. Desain Identitas Nama, Jenis Kelamin, Tanggal Lahir Responden

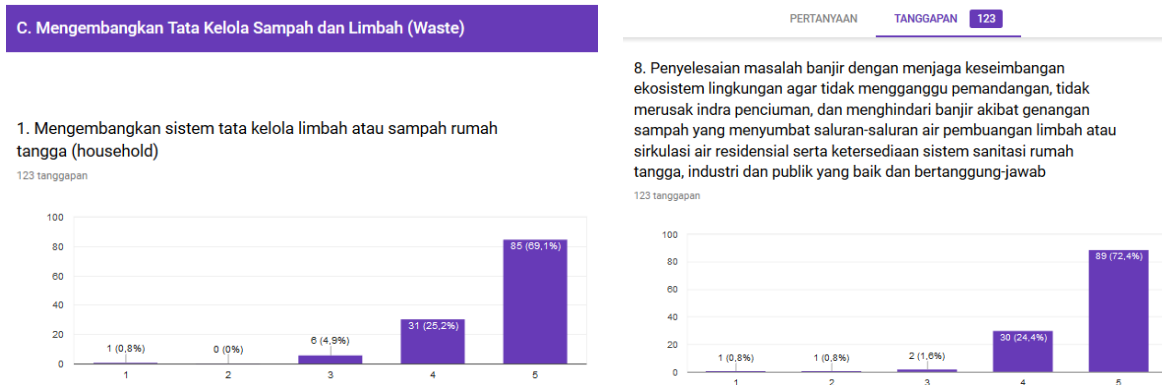
Langkah berikut adalah membuat identitas pendidikan dan kecamatan domisili responden. Untuk fasilitas *Google Form* yang dipilih adalah “*pilihan ganda*”. Hal ini dilakukan untuk memberi kesempatan responden dapat memilih jawaban yang sesuai.

Gambar 4. Desain Identitas Pendidikan dan Kecamatan Domisili Responden

Setelah mengatur penyimpanan *file*, langkah berikut adalah membuat pertanyaan pada *Google Form*. Pertanyaan kuesioner dibuat dengan fasilitas yang ada. Pertanyaan disusun berdasarkan kebutuhan akan informasi yang diharapkan dapat diperoleh dari responden.

Gambar 5. Kuesioner Google Form

Setelah membuat daftar pertanyaan dalam kuesioner, langkah selanjutnya adalah memberikan kesempatan untuk responden menjawab seluruh pertanyaan. Hasil dari jawaban responden kemudian akan diatur oleh *Google Form* secara statistik dalam bentuk yang dibutuhkan.



Gambar 6. Hasil Kuesioner

Perilaku Masyarakat

Perilaku atau gambaran aktivitas masyarakat yang menjadi dasar pemilihan responden dapat dijelaskan berdasarkan identitas responden di kota Makassar. Responden yang terlibat cukup beragam dari 14 kecamatan yang ada serta memberikan informasi melalui pengisian kuesioner yang berisi 12 pertanyaan yang berhubungan dengan tata kelola sampah dan limbah. Status responden berdasarkan pendidikan dan domisili asal kecamatan, dapat diketahui sebagai berikut:

a. Pendidikan

Berikut status pendidikan responden berdasarkan jenjang pendidikan dari tingkat SMU/SMK hingga strata jenjang pendidikan S3.

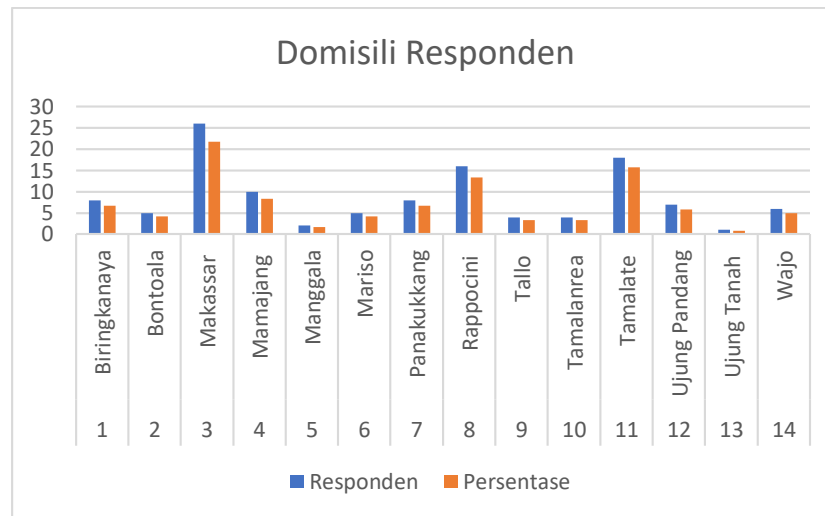
Tabel 4. Pendidikan Responden

Strata	Jumlah	Persentase
SMU/SMK	65	54,2
S1	37	30,8
S2	14	11,7
S3	2	1,7
Lainnya	2	1,7
Total	120	100

Sumber: Data Diolah, 2018

b. Domisili Kecamatan

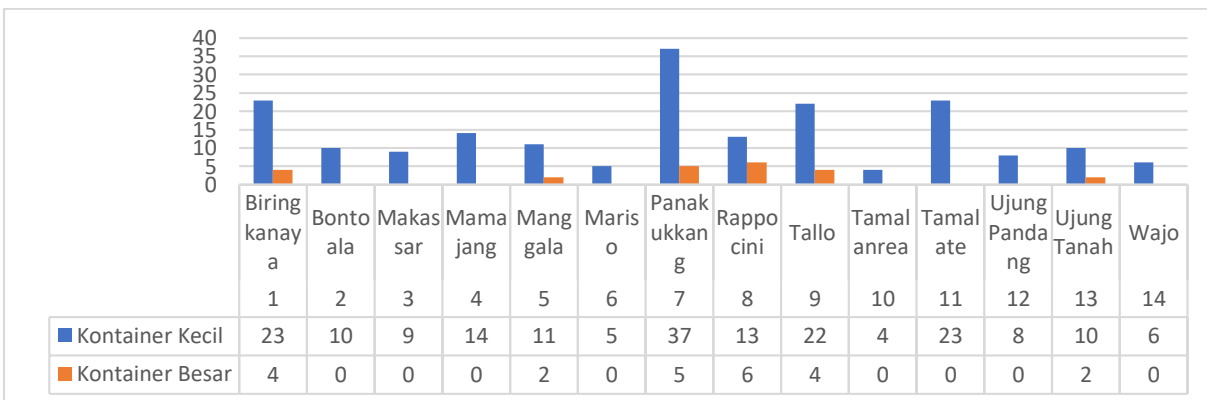
Berikut domisili asal responden berdasarkan 14 kecamatan yang berada di kota Makassar.



Gambar 7. Domisili Responden berdasarkan Kecamatan

Survei Lapangan

Kunjungan ke Dinas Kominfo Kota Makassar dan berjumpa dengan Bapak Jusman telah memperoleh beberapa data. Berdasarkan informasi, jumlah sarana pengumpul sampah hingga tahun 2015, yaitu:



Gambar 8. Sarana Pengumpul Sampah

Berdasarkan gambar 8, dapat diketahui sarana pengumpul sampah yang terdiri dari kontainer kecil dan besar telah tersedia dalam mendukung terciptanya *smart environment*. Dukungan pemerintah dan Dinas Lingkungan Hidup dapat menghasilkan sinergi antara masyarakat dan pemerintah dalam mengelola sampah.

1) Gejala

Untuk menjadikan kota Makassar menuju *smart city* diperlukan bagian *smart environment* dalam mendukung program kota dengan jati diri "*Sombere*". Saat ini pertambahan jumlah penduduk, proses urbanisasi yang terus berkembang, penyediaan infrastruktur baik berupa fasilitas sosial dan umum atau *multiplayer effect* terhadap pembangunan kota Makassar lainnya terhadap pemanfaatan lahan sudah mulai dirasakan. Hal ini diketahui dengan berkurangnya lahan kosong untuk lahan pertanian, berkurangnya daerah resapan air hujan, ruang terbuka dan hijau, dan bahkan ruang parkir, sehingga dapat menyebabkan semakin semrawutnya kota Makassar. Untuk itu Pemkot perlu melakukan penataan kembali secara konsisten terhadap lingkungan hidup yang ada dengan memperhatikan pengelolaan sampah. Upaya penyadaran kepada masyarakat menjadi sarana dalam membangun tata kelola *smart city* khususnya yang berfokus pada *smart environment*.

2) Permasalahan

Jawaban responden telah memberikan informasi mengenai harapan besar dari masyarakat terhadap pengembangan tata kota pada *smart environment*. Harapan tersebut dapat ditunjukkan pada tabel 5 dengan skala penilaian responden dengan rentang 3 – 5 (skala *likert*) yang berjumlah 1414 dari 1440 jawaban (12 pertanyaan dikali 120 responden). Hal ini berarti bahwa pemilihan dan prioritas difokuskan pada nilai yang ada berdasarkan skala yang merupakan permasalahan untuk dapat dicarikan solusi dan fokus pengembangan *smart environment*.

Tabel 5. Sarana Pengumpul Sampah

No	Pertanyaan	Skala Penilaian			Jumlah
		3	4	5	
1	Sistem tata kelola limbah (household)	6	30	83	119
2	Sistem tata kelola limbah industri (industrial)	9	26	83	118
3	Sistem tata kelola limbah dan sampah publik (<i>public</i>)	7	25	86	118
4	Keseimbangan ekosistem lingkungan	1	17	101	119
5	Program Bank Sampah, Smart Monitoring Persampahan	6	30	82	118
6	Masyarakat peduli akan kebersihan	10	23	86	119
7	Program penukaran sampah dengan beras	14	36	65	115
8	Menjaga keseimbangan ekosistem lingkungan	2	29	87	118
9	Pemilahan sampah	8	32	79	119
10	Armada mobil angkut sampah “tangkasaki”	9	23	85	117
11	Tim drainase Dinas Pekerjaan Umum (PU)	12	32	74	118
12	Pembersihan sampah permukaan laut	4	29	83	116
	Total Penilaian	88	332	994	

Sumber: Data Diolah, 2018

3) Alternatif Solusi

Berdasarkan hasil pengisian kuesioner. Terdapat peluang program prioritas terbesar untuk mewujudkan kota Makassar menjadi *smart environment*. Hal ini dapat diketahui dari pemilihan skala 3 (Setuju) – 5 (Sangat Setuju) dengan jumlah rata-rata “Sangat Setuju” di atas 85 responden (70%) pada skala penilaian.

- Sistem tata kelola limbah dan sampah publik (*public*)
- Menjaga keseimbangan ekosistem lingkungan
- Masyarakat peduli akan kebersihan
- Penyelesaian masalah banjir dengan menjaga keseimbangan ekosistem lingkungan

4) Titik Keputusan

Dalam menghadirkan kota Makassar menuju kota dunia, diperlukan perhatian dan fokus pada beberapa hal yang dominan bernilai di atas 100 responden skala penilaian dari total 120 responden. Rupanya sebagian besar responden mengharapkan program tata kelola smart environment mengarah pada terciptanya upaya untuk selalu “menjaga keseimbangan ekosistem lingkungan”. Pembangunan kota Makassar menuju kota dunia perlu diimbangi dengan pemeliharaan ekosistem lingkungan. Persepsi masyarakat terhadap efektifitas pelaksanaan konsep *Smart City* dapat membantu pemerintah kota Makassar untuk membangun tata kelola *Smart Environment* menggunakan sistem informasi.

5) Rekomendasi

Hasil penelitian telah menunjukan bahwa terdapat 101 (84%) responden menginginkan kota Makassar menjadi *Smart Environment* yang memiliki nilai *Sombere* untuk menuju Tata kelola *Smart City*.

3. KESIMPULAN

Kegiatan analisis pembangunan *smart environment* terhadap tata kelola *smart city* telah memperoleh suatu gambaran mengenai harapan masyarakat dalam upaya membangun Makassar menjadi kota dunia yang berciri khas *Sombere* melalui pemeliharaan terhadap ekosistem lingkungan.

PUSTAKA

- Alberti, Elisa. 2011. *Smart Mobility Vision Report, Deliverable of the Project Smart Metropolitan Areas Realised Through Innovation and People*. European Commision.
- Chandra. 2016. *Strategi Pembangunan Smart City dan Tantangannya bagi Masyarakat Kota*. Jurnal Strategi dan Bisnis Vol. 4, No. 2.
- Cohen, Boyd. 2011. *Basic Smart City Indicators: Smart city Wheel*.
- Djaali. 2008. *Skala Likert*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Google Form. 2018. <https://docs.google.com/forms> Diakses tanggal 15 Januari 2018.
- Jogiyanto. 2013. *Analisis dan Desain Sistem Informasi : Pendekatan Terstruktur Teori dan Praktik Aplikasi Bisnis*. Andi Offset. Yogyakarta.
- Kominfo Makassar. 2017. *Analisis Strategi Smart City Kota Makassar*. Pemerintah Kota Makassar.
- Permen PU No. 21/PRT/M/2006.
- Utomo, CEW., Hariadi, M. 2016. *Strategi Pembangunan Smart City dan Tantangannya bagi Masyarakat Kota*. Jurnal Strategi dan Bisnis Volume 4 Nomor 2, Oktober 2016. Surabaya.
- Widyaningsih. 2013. *Kajian Pemakai Website Jakarta Smart City Terhadap Kepercayaan Masyarakat Pada Pemerintah Provinsi DKI Jakarta*. Jakarta.

SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN PEMILIHAN PROGRAM STUDI DI UNIVERSITAS KATOLIK DE LA SALLE MANADO MENGUNAKAN METODE AHP

Vivie Deyby Kumenap

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Katolik De La Salle Manado

Kairagi I, Kombos, Manado

Telp. (0411) 871957

E-mail: vkumenap@unikadelasalle.ac.id

ABSTRAK

Pemilihan program studi yang tepat bagi siswa yang melanjutkan pendidikannya pada tingkat perguruan tinggi menjadi hal yang sangat penting. Hal tersebut dikarenakan proses dalam pengambilan keputusan melalui berbagai macam pertimbangan. Pertimbangan-pertimbangan yang muncul menjadi kriteria yang dapat mempengaruhi hasil dari sebuah keputusan. Penelitian ini mengambil kasus calon mahasiswa baru dalam memilih program studi di Universitas Katolik De La Salle Manado. Penyelesaian dari permasalahan pada penelitian ini membuat Sistem Pendukung Keputusan (SPK) menggunakan metode Analytic Hierarchy Process (AHP). Model keputusan dengan metode AHP menggunakan alat analisis SPK yaitu SuperDecisions dengan 4 kriteria (kriteria akreditasi, kriteria biaya studi, kriteria minat, dan kriteria kebutuhan lulusan) dan 11 alternatif program studi (teknik informatika, teknik elektro, teknik industri, teknik sipil, akuntansi, manajemen, ilmu hukum, agribisnis, ilmu keperawatan, hospitaliti dan pariwisata, dan pendidikan guru sekolah dasar). Hasil dari model keputusan ini memperoleh rekomendasi keputusan yang diambil dari nilai prioritas tertinggi alternatif.

Kata Kunci: AHP, Program Studi, SPK

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kesulitan dalam memilih program studi yang tepat bagi siswa yang akan melanjutkan studinya di perguruan tinggi merupakan permasalahan yang sering terjadi saat ini. Sebagian calon mahasiswa tidak tahu minat dan bakatnya saat memilih program studi sehingga mereka cenderung memilih program studi atas dasar mengikuti temannya, ataupun karena ada paksaan dari orangtua. Hal tersebut berdampak buruk bagi calon mahasiswa itu sendiri, misalnya terjadi kegagalan dalam menyelesaikan studinya sehingga harus berhenti, bahkan ada juga yang sampai terkena *drop out* (DO) dari perguruan tinggi. Selain itu, ada pula yang merasa kesulitan dengan perkuliahan pada program studinya dan akhirnya memutuskan untuk berpindah ke program studi yang lainnya bahkan sampai pindah perguruan tinggi juga. Waktu dan materi dari calon mahasiswa tersebut akhirnya telah terbuang percuma karena kesalahan dalam memilih program studi.

Kasus yang sama juga sering terjadi di Universitas Katolik De La Salle Manado yang memiliki 11 pilihan program studi. Tidak sedikit mahasiswa yang terhenti studinya ditengah jalan ataupun berpindah program studi bahkan perguruan tinggi. Selain berdampak tidak baik terhadap mahasiswanya sendiri, hal tersebut juga memberikan dampak yang sama bagi Universitas Katolik De La Salle Manado.

Berdasarkan permasalahan yang muncul, dimana calon mahasiswa cenderung melakukan kesalahan dalam memilih program studi maka dibuatlah Sistem Pendukung Keputusan (SPK) Pemilihan Program Studi di Universitas Katolik De La Salle Manado Menggunakan Metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP). SPK yang dibuat dimaksudkan untuk membantu calon mahasiswa dalam memilih program studi di Universitas Katolik De La Salle Manado dengan menggunakan 4 kriteria. Kriteria-kriteria tersebut yaitu Akreditasi, Biaya Studi, Minat, dan Kebutuhan Kelulusan. Keempat kriteria tersebut dapat menjadi pertimbangan bagi calon mahasiswa maupun orang tua dari calon mahasiswa tersebut untuk dapat memilih program studi yang sesuai, sehingga meminimalisir kesalahan yang terjadi dalam pemilihan program studi.

Sistem pendukung keputusan yang dibuat menerapkan metode AHP yang modelnya diimplementasi dengan menggunakan salah satu alat analisis SPK, yaitu *SuperDecisions*. *SuperDecisions* merupakan alat analisis SPK yang dapat digunakan untuk memperoleh hasil alternatif keputusan berdasarkan perhitungan dengan menggunakan metode AHP. Hasil dari SPK ini yang berupa alternatif keputusan diharapkan dapat membantu calon mahasiswa dalam memilih program studi di Universitas Katolik De La Salle Manado.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari permasalahan yang muncul pada latar belakang maka dalam penyelesaiannya dirumuskan yaitu bagaimana merancang sistem pendukung keputusan menggunakan metode ANP yang sesuai dengan kriteria-kriteria dalam pemilihan program studi sehingga dapat membantu calon mahasiswa dalam memilih program studi yang sesuai.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan memanfaatkan metode AHP menggunakan alat analisis keputusan *SuperDecisions* yang dapat memberikan hasil alternatif keputusan berdasarkan kriteria yang telah ditentukan, sehingga dapat membantu calon mahasiswa dalam memilih program studi yang sesuai.

1.4 Kajian Pustaka

Beberapa penelitian terdahulu yang membahas topik yang sama, yaitu tentang sistem pendukung keputusan telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu. Dimana penelitian-penelitian tersebut telah menghasilkan berbagai macam kesimpulan yang dapat membantu kita memahami atau pun melakukan pengembangan dari penelitian terdahulu. Penelitian terdahulu yang sesuai dengan topik penelitian ini yaitu tentang sistem pendukung keputusan pemilihan jurusan SNMPTN pernah dilakukan oleh Prabowo dkk (2015). Penelitian tersebut mengambil kasus di SMAN 7 Purworejo dan diperoleh kesimpulan bahwa model SPK yang dibuat mampu menyediakan informasi yang berguna untuk membantu guru BK dalam mengarahkan kelanjutan pendidikan siswanya. Selain itu penelitian serupa juga pernah dilakukan oleh Iswanti & Lutfiani (2016) yang mengambil kasus di STMIK AKAKOM. Kesimpulan dari hasil penelitian tersebut yaitu keluaran sistem yang dibuat dapat dijadikan acuan untuk memberikan saran pemilihan jurusan bagi calon mahasiswa baru.

Selain itu terdapat juga penelitian terdahulu untuk sistem pendukung yang menerapkan metode AHP menggunakan *SuperDecisions*. Penelitian tersebut dilakukan oleh Wijaya dkk (2015) yang mengambil kasus SPK pemilihan siswa berprestasi pada SMP, dimana penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa dapat dihasilkan ranking untuk model kriteria dan alternatif.

1.5 Landasan Teori

Pada sub bab landasan teori ini membahas teori-teori yang relevan dan mendukung penelitian ini. Beberapa pokok teori tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:

Sistem Pendukung Keputusan

Sistem Pendukung Keputusan (SPK) telah didefinisikan oleh beberapa ahli, salah satunya adalah menurut Turban dkk (2005) yang mendefinisikan bahwa SPK adalah sebuah sistem yang dimaksudkan untuk mendukung para pengambil keputusan dalam situasi keputusan yang semiterstruktur.

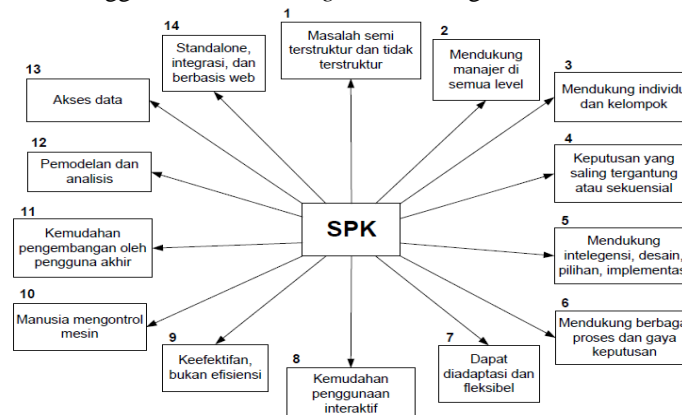
Karakteristik dan Kapabilitas Sistem Pendukung Keputusan

Gambar 1 menunjukkan karakteristik dan kapabilitas dari sistem pendukung keputusan menurut Turban dkk (2005), yang dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Mendukung untuk pengambilan keputusan, terutama pada situasi semi terstruktur dan terstruktur, dengan menyertakan penilaian manusia dan informasi terkomputerisasi. Masalah-masalah tersebut tidak dapat dipecahkan (atau tidak dapat dipecahkan dengan praktis/mudah) oleh sistem komputer lain atau oleh metode alat kuantitatif standar.
2. Mendukung untuk semua manajerial dari eksekutif puncak sampai manajer lini.
3. Mendukung individu dan kelompok. Masalah kurang terstruktur sering memerlukan keterlibatan individu dari departemen dan tingkat organisasional yang berbeda atau bahkan dari organisasi lain. SPK mendukung tim virtual melalui alat-alat web kolaboratif.
4. Mendukung untuk keputusan yang independen dan atau *sequential*. Keputusan dapat dibuat satu kali, beberapa kali, atau berulang (dalam interval sama).
5. Mendukung di semua fase proses pengambilan keputusan: *intelligence, design, choice, dan implementation*.
6. Mendukung dalam berbagai proses dan gaya pengambilan keputusan.
7. Adaptasi sepanjang waktu. Pengambilan keputusan seharusnya relatif, dapat menghadapi berbagai perubahan kondisi secara tepat, dan mengadaptasikan SPK untuk memenuhi perubahan tersebut. SPK bersifat fleksibel dan karena itu pengguna dapat menambahkan, menghapus, menggabungkan, mengubah,

atau menyusun kembali elemen-elemen dasar. SPK juga fleksibel dalam hal dapat dimodifikasi untuk memecahkan masalah lain yang sejenis.

8. Pengguna merasa seperti di rumah. Ramah pengguna, kapabilitas grafis yang sangat kuat, dan antar muka mesin-mesin interaktif dengan satu bahasa alami dapat sangat meningkatkan keefektifan SPK. Kebanyakan aplikasi SPK yang baru menggunakan antarmuka berbasis web.
9. Peningkatan terhadap keefektifan pengambilan keputusan (akurasi, *timeliness*, kualitas) dibandingkan efisiensinya (biaya pengambilan keputusan). Ketika SPK disebarakan, pengambilan keputusan sering membutuhkan waktu lebih lama, namun keputusannya lebih baik.
10. Kontrol penuh oleh pengambil keputusan terhadap semua langkah proses pengambilan keputusan dalam memecahkan suatu masalah. SPK secara khusus menekankan untuk mendukung pengambilan keputusan, bukan menggantikan.
11. Pengguna akhir dapat mengembangkan dan memodifikasi sendiri sistem sederhana. Sistem yang lebih besar dapat dibangun dengan bantuan ahli sistem informasi. Piranti lunak *Online Analytical Processing* (OLAP) dalam kaitannya dengan data warehouse membolehkan pengguna untuk membangun SPK yang cukup besar dan kompleks.
12. Biasanya model-model digunakan untuk menganalisis situasi pengambilan keputusan. Kapabilitas pemodelan memungkinkan eksperimen dengan berbagai strategi berbeda di bawah konfigurasi yang berbeda. Sebenarnya, model-model membuat suatu SPK berbeda dari kebanyakan SPK.
13. Akses disediakan untuk berbagai sumber data, format, dan tipe, mulai dari *Geographic Information System* (GIS) sampai sistem berorientasi-objek.
14. Dapat dilakukan sebagai alat *stand alone* yang digunakan oleh seorang pengambil keputusan pada satu lokasi atau didistribusikan di satu organisasi keseluruhan dan di beberapa organisasi sepanjang rantai persediaan. Dapat diintegrasikan dengan SPK lain atau aplikasi lain, dan didistribusikan secara internal dan eksternal menggunakan *networking* dan teknologi *web*.



Gambar 1. Karakteristik dan Kapabilitas Sistem Pendukung Keputusan

Karakteristik dan kapabilitas adalah kunci dari SPK tersebut membolehkan para pengambil keputusan untuk membuat keputusan lebih baik dan lebih konsisten pada satu cara yang dibatasi waktu.

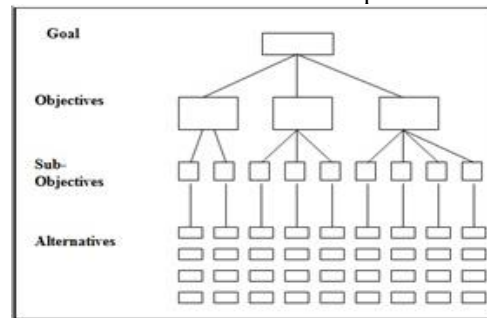
Analytic Hierarchy Process (AHP)

Model *Analytical Hierarchy Process* (AHP) adalah salah satu metode *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) yang dikembangkan oleh Prof. Thomas Lorie Saaty. Saaty menguraikan metode AHP dan menjelaskan penggunaan metode AHP ini bagi para pemimpin dan pengambil keputusan dalam situasi yang kompleks. Masalah kompleks dapat diartikan bahwa pemimpin dihadapkan pada situasi untuk secepatnya mengambil keputusan dan kriteria yang begitu banyak. AHP merupakan suatu metode analisis yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah yang bersifat kualitatif yang kemudian diukur secara kuantitatif melalui pendapat (*judgment*). Aspek kualitatif untuk mendefinisikan persoalan dan hirarkinya, dan aspek kuantitatif untuk mengekspresikan penilaian dan preferensi secara ringkas dan padat (Saaty, 1986).

Tahapan-tahapan dalam pengambilan keputusan dengan metode AHP pada dasarnya terdiri dari (Saaty, 1994):

1. Mendefinisikan masalah dan menentukan solusi yang diinginkan.

2. Dekomposisi (*Decomposition*), yaitu memecah persoalan yang utuh menjadi unsur-unsurnya sampai tidak mungkin dilakukan pemecahan/penguraian lebih lanjut. Pemecahan tersebut akan menghasilkan beberapa tingkatan dari suatu persoalan, sehingga proses analisis ini dinamakan hirarki (*hierarchy*). Membuat struktur hierarki yang diawali dengan tujuan umum, dilanjutkan dengan kriteria dan alternatif-alternatif pilihan yang ingin dirangsang. Secara grafis struktur masalah dalam hierarki dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur Hirarki AHP

3. Penilaian perbandingan (*Comparative Judgment*), yaitu dilakukan berdasarkan pilihan atau *judgment* dari pembuat keputusan dengan menilai tingkat-tingkat kepentingan suatu elemen dibandingkan dengan elemen lainnya. Penilaian dilakukan dengan membentuk matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*).

Matriks perbandingan berpasangan adalah matriks berukuran $n \times n$ dengan elemen a_{ij} yang merupakan perbandingan elemen ke- i terhadap elemen ke- j (perbandingan kriteria baris ke- i dan kolom ke- j). Misalkan terhadap subsistem hierarki dengan kriteria A dan sejumlah n alternatif dibawahnya, A_1 sampai A_n . perbandingan alternatif untuk subsistem hierarki itu dapat dibuat dalam bentuk matriks $n \times n$, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Matriks Perbandingan Berpasangan

	A^1	A^2	..	A^n
A_1	a_{11}	a_{12}	..	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	..	a_{2n}
\vdots	\vdots	\vdots	..	\vdots
A_m	a_{m1}	a_{m2}	..	a_{mn}

Nilai a_{11} adalah nilai perbandingan elemen A_1 (baris) terhadap A^1 (kolom) yang menyatakan hubungan:

- Seberapa jauh tingkat kepentingan/pengaruh A_1 (baris) dibandingkan dengan A^1 (kolom) atau
- Seberapa jauh dominasi A_1 (baris) terhadap A^1 (kolom).

Hasil dari perbandingan berpasangan akan membentuk matriks dimana skala rasio diturunkan dalam bentuk *eigenvector*.

Nilai numerik yang digunakan untuk seluruh perbandingan, memuat tingkat preferensi beberapa alternatif untuk tiap kriteria atau subkriteria dengan relatif pentingnya nilai perbandingan ditentukan skala preferensi 1-9, yang merupakan skala *fundamental* Saaty. Menurut Saaty (1986) skala tersebut mendefinisikan dan menjelaskan nilai 1 sampai dengan 9 yang ditetapkan bagi pertimbangan dalam membandingkan pasangan elemen yang sejenis disetiap tingkat hierarki terhadap suatu kriteria yang berada setingkat diatasnya. Pengalaman telah membuktikan bahwa skala dengan sembilan satuan dapat diterima dan mencerminkan derajat sampai mana kita mampu membedakan intensitas tata hubungan antar elemen. Nilai dan definisi pendapat kualitatif dari skala perbandingan Saaty dapat ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Skala Penilaian Perbandingan Berpasangan (Saaty, 1994)

Skala	Kebalikan	Definisi
1	1	Kriteria/alternatif A sama penting dengan kriteria/alternatif B
2	$\frac{1}{2}$	A sedikit lebih penting daripada B
3	$\frac{1}{3}$	A cukup penting daripada B
4	$\frac{1}{4}$	A cukup lebih penting daripada B
5	$\frac{1}{5}$	A sangat penting daripada B
6	$\frac{1}{6}$	A sangat lebih penting daripada B
7	$\frac{1}{7}$	A sangat kuat pentingnya daripada B
8	$\frac{1}{8}$	A sangat sangat kuat pentingnya daripada B

9	1/9	A mutlak/ekstrem penting daripada B
---	-----	-------------------------------------

4. Menentukan nilai prioritas elemen dengan cara sebagai berikut:
Langkah 1: Mengalikan tiap elemen pada baris yang sama dan hasilnya diakarkan dengan jumlah elemen.
Langkah 2: Jumlahkan seluruh nilai yang diperoleh dari hasil akar pada langkah 1.
Langkah 3: Nilai hasil akar (langkah 1) untuk tiap elemen dibagi dengan jumlah dari nilai hasil akar (langkah 2), maka diperoleh nilai prioritas tiap-tiap elemen (nilai prioritas lokal).
5. Menguji apakah penilaian perbandingan yang telah dibuat sudah konsisten atau belum. Konsistensi penting untuk mendapatkan hasil yang valid dalam dunia nyata. Sama seperti AHP, ANP mengukur konsistensi pertimbangan dengan rasio konsistensi (*consistency ratio*). Nilai konsistensi rasio harus kurang dari 10% ($CR \leq 0.1$). Jika lebih dari rasio ini maka nilai perbandingan matriks dilakukan kembali. Langkah-langkah menghitung rasio konsistensi yaitu:

- a. Menghitung nilai *eigenvalue* (λ_{\max}) dengan persamaan (1):

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i} \quad (1)$$

Dimana, λ_{\max} = Nilai *eigenvalue* maksimum; A = Matrik perbandingan berpasangan; W_i = Nilai prioritas; $i = 1, 2, \dots, n$ merupakan jumlah elemen.

- b. Menghitung indeks konsistensi (*consistency index*) dengan persamaan (2):

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (2)$$

Dimana, CI = *Consistency Index*; λ_{\max} = Nilai *eigenvalue* maksimum; n = Banyaknya elemen.

- c. Menghitung rasio konsistensi (*consistency ratio*) dengan persamaan (3):

$$CR = CI / RI \quad (3)$$

Dimana, CI = *Consistency Index* (indeks konsistensi); CR = *Consistency Ratio* (rasio konsistensi); RI = *Random Index*. Adapun *Random Index* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai *Random Index*

Ukuran Matriks	1,2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Random Index</i>	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

6. Mengulangi langkah 3, 4, dan 5 untuk semua level hierarki.
Menerapkan prinsip *synthesizethe priorities* yaitu mulai dari level kedua dengan mengalikan bobot kriteria (*local weight*) dengan bobot subkriterianya masing-masing. Hal ini memberikan prioritas global (*global priority*) dari tiap-tiap elemen subkriteria kemudian dikalikan dengan bobot alternatif yang sesuai dengan subkriterianya masing-masing dan seterusnya sampai ke tingkat bawah. Kemudian dijumlahkan secara keseluruhan sesuai dengan banyaknya perbandingan tiap-tiap alternatif terhadap masing-masing subkriterianya, sehingga didapatkanlah *total weight* (hasil akhir) dari proses pembobotan tiap-tiap alternatif yang berarti bahwa alternatif prioritas pilihan terbaik.

1.6 Metodologi Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian *case study* (studi kasus), dimana studi kasus yang digunakan yaitu penerimaan mahasiswa baru di Universitas Katolik De La Salle Manado. Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian studi kasus adalah sebagai berikut:

Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang diperlukan dalam penelitian ini diperoleh melalui beberapa cara, yaitu:

- a) Observasi dilakukan terhadap proses yang terjadi pada saat pendaftaran calon mahasiswa baru.
- b) Wawancara dan diskusi langsung dengan Kepala Admission & Promotion Office dan beberapa mahasiswa yang sedang studi maupun calon mahasiswa yang baru mendaftarkan diri untuk studi lanjut di Universitas Katolik De La Salle Manado. Berdasarkan wawancara yang dilakukan diperoleh data-data yang terkait dengan kriteria dan alternatif.
- c) Studi Literatur yaitu dengan melakukan penelusuran informasi dari bahan atau materi berupa buku referensi dan jurnal-jurnal ilmiah yang terkait dengan kasus penelitian sistem pendukung keputusan pemilihan program studi dengan metode AHP.

Analisis Data

Data-data yang telah terkumpul kemudian dianalisis sehingga diperoleh data kriteria yang digunakan dan alternatif keputusannya. Data-data tersebut digunakan dalam proses perhitungan dengan metode AHP menggunakan alat analisis *SuperDecisions* sehingga dapat diperoleh hasil keputusan sesuai dengan kasus penelitian.

Penulisan Laporan

Tahap ini dilakukan dengan menyusun laporan dari setiap tahap penelitian yang berbentuk jurnal ilmiah. Setiap tahap didokumentasikan sehingga dapat diperoleh kesimpulan berdasarkan hasil dari penelitian ini.

2. PEMBAHASAN

Pembahasan berdasarkan langkah-langkah penyelesaian proses pengambilan keputusan menurut Simon (Turban dkk, 2005) yang dibagi menjadi 4 fase, yaitu sebagai berikut:

Fase Intelengensi

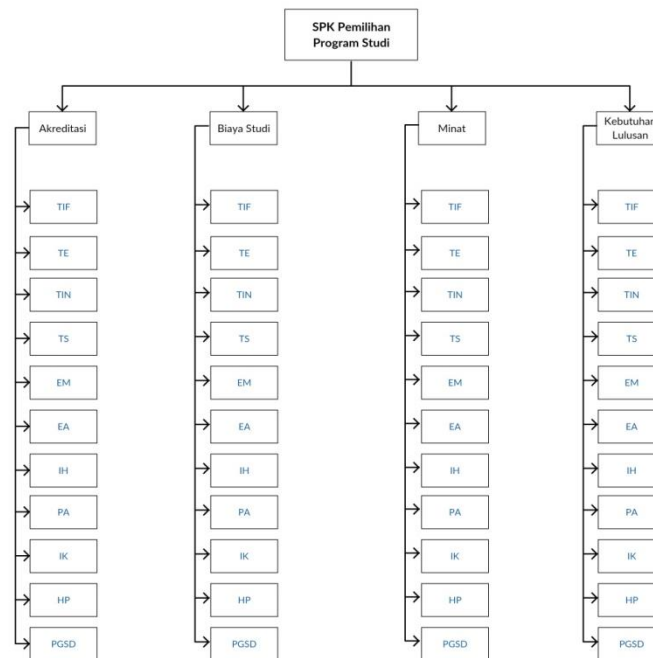
Pada fase intelegensi ini hal-hal yang dilakukan yaitu dimulai dengan mengidentifikasi lingkup permasalahan yang harus diselesaikan. Permasalahan yang telah diidentifikasi berdasarkan uraian pada latar belakang, yaitu terdapat kesulitan ketika calon mahasiswa yang melanjutkan studinya di Perguruan Tinggi untuk memilih program studi yang sesuai. Hal tersebut dikarenakan ada berbagai faktor yang mempengaruhi keputusan dari pengambil keputusan tersebut, yang dalam hal ini adalah calon mahasiswa.

Fase Perancangan

Fase perancangan ini merupakan fase dimana dilakukan pemodelan masalah yang telah didefinisikan dengan cara menguraikan elemen keputusan, alternatif variabel keputusan, dan kriteria evaluasi yang dipilih. Penyelesaian pada fase ini dapat diuraikan sebagai berikut:

- (a) Keputusan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah Pemilihan Program Studi yang sesuai bagi calon mahasiswa yang ingin melanjutkan studinya di Perguruan Tinggi Unika De La Salle Manado.
- (b) Alternatif keputusan yang digunakan yaitu seluruh program studi yang terdapat di Unika De La Salle Manado. Jumlah program studi di Unika De La Salle Manado adalah sebanyak 11 program studi, yaitu Teknik Informatika (TIF), Teknik Elektro (TE), Teknik Industri (TIN), Teknik Sipil (TS), Akuntansi (EA), Manajemen (EM), Ilmu Hukum (IH), Agribisnis (PA), Ilmu Keperawatan (IK), Hospitaliti dan Pariwisata (HP), dan Pendidikan Guru Sekolah Dasar (PGSD).
- (c) Kriteria yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 4 kriteria. Kriteria-kriteria tersebut adalah Kriteria Akreditasi, Kriteria Biaya Studi, Kriteria Minat, Kriteria Kebutuhan Lulusan.

Setelah mengetahui keputusan yang ingin dicapai, alternatif keputusan, dan kriteria, selanjutnya dapat dilihat hirarkinya pada Gambar 3.



Gambar 3. Hirarki SPK Pemilihan Program Studi

Fase Pemilihan

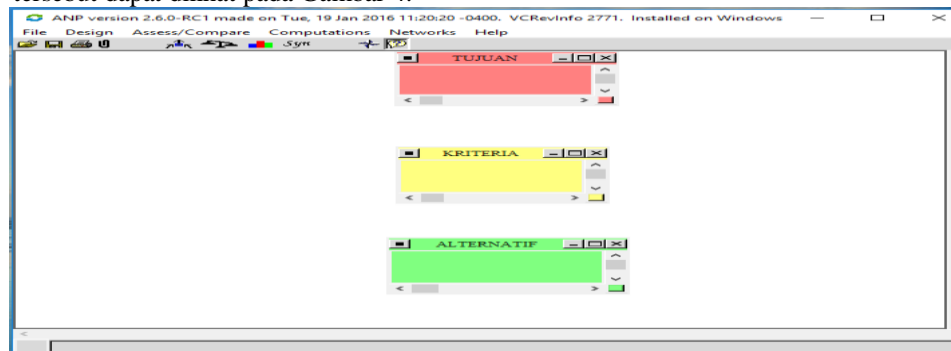
Pada fase ini ditentukan metode yang digunakan untuk memodelkan SPK Pemilihan Program Studi sehingga keputusan yang diperoleh sesuai dengan kebutuhan pengambil keputusan. Penelitian ini telah dipilih metode AHP untuk digunakan agar memperoleh model keputusan yang sesuai. Langkah-langkah perhitungan dengan menggunakan metode AHP dilakukan sesuai dengan yang telah dijelaskan pada sub bab Landasan Teori sebelumnya.

Fase Implementasi

Fase yang terakhir adalah fase implementasi, dimana pada penelitian ini penyelesaian SPK Pemilihan Program Studi menggunakan metode AHP dilakukan dengan alat analisis SPK yaitu *SuperDecisions*. Langkah-langkah yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

Membuat Cluster

Terdapat 3 *cluster* yang dibuat yaitu *cluster* Tujuan, *cluster* Kriteria, dan *cluster* Alternatif. Hasil dari pembuatan ketiga *cluster* tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.

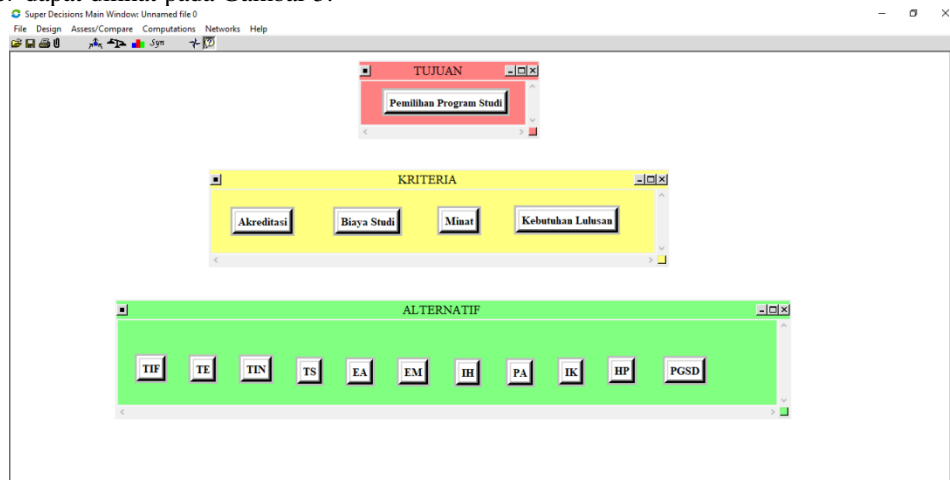


Gambar 4. Hasil Pembuatan Cluster

Membuat Node

Node-node dibuat pada masing-masing *cluster* Tujuan, *cluster* Kriteria, dan *cluster* Alternatif. Terdapat 1 *node* pada *cluster* Tujuan, yaitu *node* Pemilihan Program Studi yang merupakan keputusan yang ingin dicapai pada

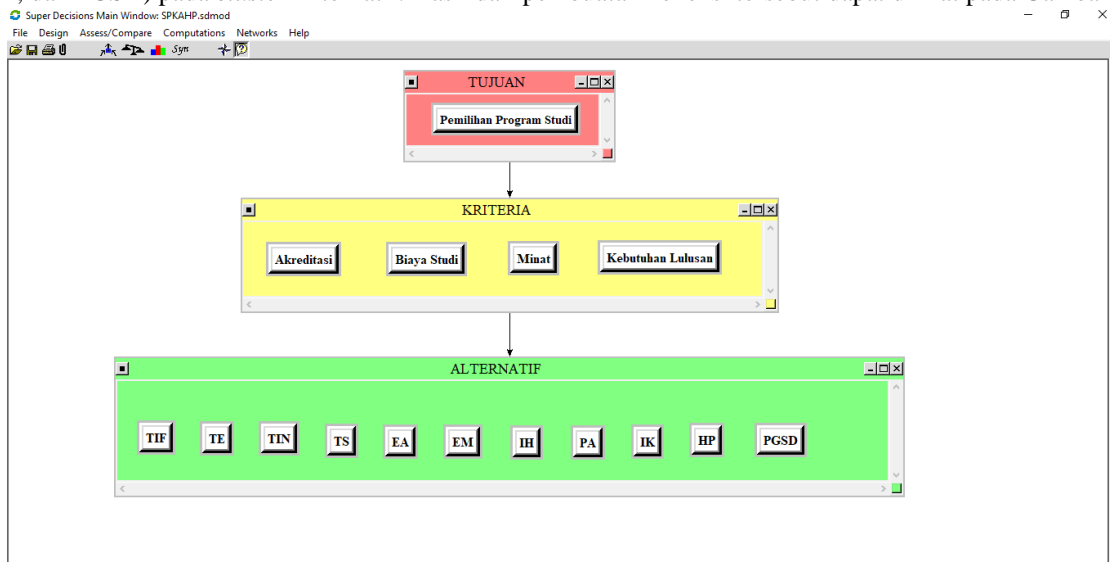
penelitian ini. Pada *cluster* kriteria, *node* merupakan kriteria-kriteria yang digunakan sebagai kriteria keputusan yang telah ditentukan pada sub bab sebelumnya, yang terdiri dari *node* Akreditasi, *node* Biaya Studi, *node* Minat, dan *node* Kebutuhan Lulusan. *Cluster* yang terakhir adalah Alternatif dimana berisi *node-node* yang menunjukkan 11 program studi yang menjadi alternatif keputusan pada penelitian ini. Hasil pembuatan *node-node* pada masing-masing *cluster* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Pembuatan *Node* pada Setiap *Cluster*

Membuat Koneksi

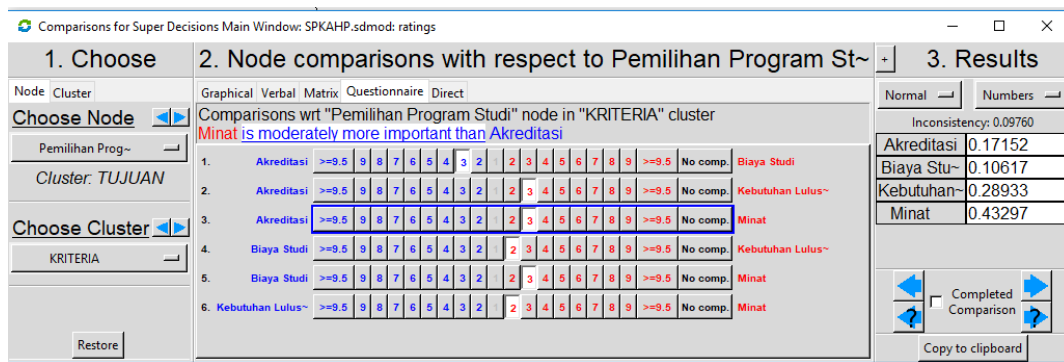
Koneksi dibuat untuk menghubungkan hirarki yang dimulai dari *Cluster* Tujuan, *Cluster* Kriteria, dan *Cluster* Alternatif. Koneksi pertama dibuat dari *node* Pemilihan Program Studi yang terdapat pada *cluster* Tujuan ke masing-masing *node* (Akreditasi, Biaya Studi, Minat, Kebutuhan Lulusan) pada *cluster* Kriteria. Koneksi selanjutnya dihubungkan dari setiap *node* pada *cluster* Kriteria ke semua *node* (TIF, TE, TIN, TS, EA, EM, IH, PA, IK, HP, dan PGSD) pada *cluster* Alternatif. Hasil dari pembuatan koneksi tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Pembuatan Koneksi

Perbandingan Berpasangan Antar Kriteria

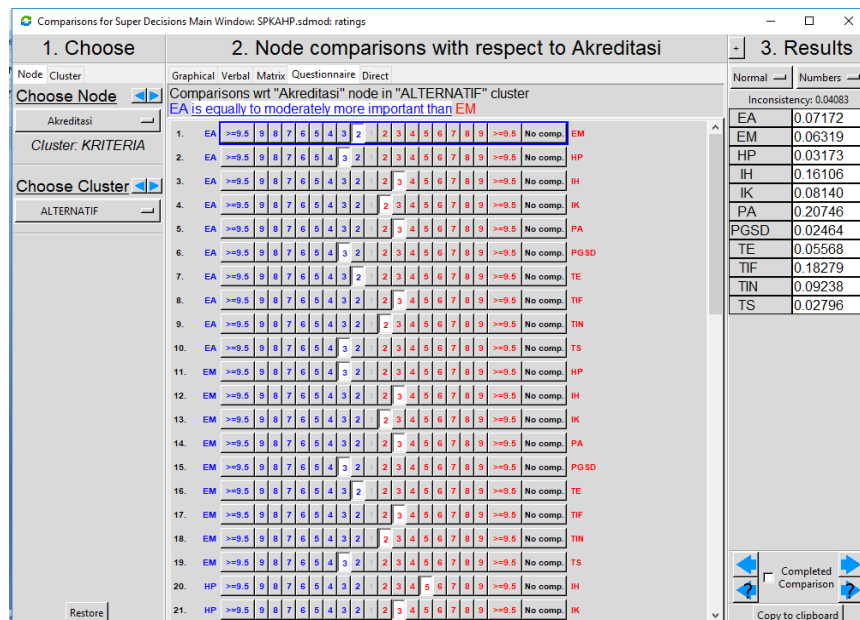
Perbandingan berpasangan antar kriteria dilakukan untuk menilai kepentingan dari antar *node* pada *cluster* kriteria yang dibandingkan. Gambar 7 menunjukkan nilai kepentingan dari perbandingan berpasangan antar *node-node* tersebut.



Gambar 7. Perbandingan Berpasangan Antar Kriteria

Perbandingan Berpasangan Antar Alternatif

Perbandingan berpasangan antar alternatif dilakukan pada masing-masing kriteria (*node*), dimana terdapat 4 matriks perbandingan berpasangan antar alternatif terhadap masing-masing kriteria. Yang pertama ditunjukkan pada Gambar 8 yaitu perbandingan berpasangan antar *node-node* pada *cluster* alternatif terhadap *node* akreditasi pada *cluster* kriteria.



Gambar 8. Perbandingan Berpasangan Antar *Node* pada *Cluster* Alternatif Terhadap *Node* Akreditasi pada *Cluster* Kriteria

Selanjutnya yang kedua dapat dilihat pada Gambar 9, yaitu perbandingan berpasangan *node-node* pada *cluster* alternatif terhadap *node* biaya studi pada *cluster* kriteria.

<

Gambar 9. Perbandingan Berpasangan Antar Node pada Cluster Alternatif Terhadap Node Biaya Studi pada Cluster Kriteria

Perbandingan berpasangan ketiga dapat dilihat pada Gambar 10, yaitu perbandingan berpasangan antar node-node pada cluster alternatif terhadap node minat pada cluster kriteria.

Comparisons for Super Decisions Main Window: SPKAHP.sdm: ratings

1. Choose

Node Cluster

Choose Node

Minat

Cluster: KRITERIA

Choose Cluster

ALTERNATIF

Restore

2. Node comparisons with respect to Minat

Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct

Comparisons wrt "Minat" node in "ALTERNATIF" cluster

EM is equally to moderately more important than EA

1.	EA	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	EM
2.	EA	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	HP
3.	EA	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	IH
4.	EA	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	IK
5.	EA	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	PA
6.	EA	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	PGSD
7.	EA	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	TE
8.	EA	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	TIF
9.	EA	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	TIN
10.	EA	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	TS
11.	EM	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	HP
12.	EM	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	IH
13.	EM	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	IK
14.	EM	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	PA
15.	EM	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	PGSD
16.	EM	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	TE
17.	EM	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	TIF
18.	EM	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	TIN
19.	EM	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	TS
20.	HP	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	IH
21.	HP	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	IK

3. Results

Normal Numbers

Inconsistency: 0.06485

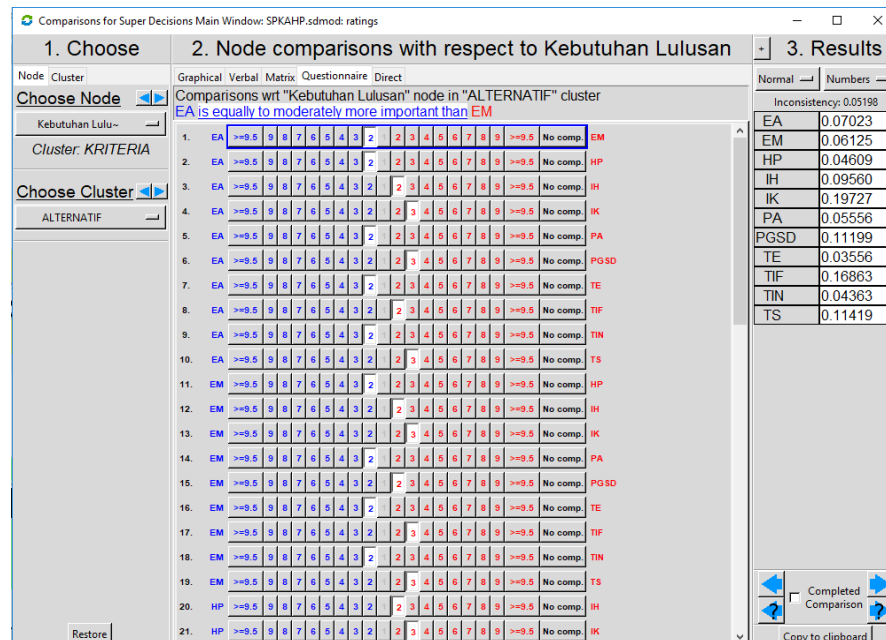
EA	0.06742
EM	0.07303
HP	0.12224
IH	0.12024
IK	0.15879
PA	0.06314
PGSD	0.08864
TE	0.03299
TIF	0.18590
TIN	0.04649
TS	0.04112

Completed Comparison

Copy to clipboard

Gambar 10. Perbandingan Berpasangan Antar Node pada Cluster Alternatif Terhadap Node Minat pada Cluster Kriteria

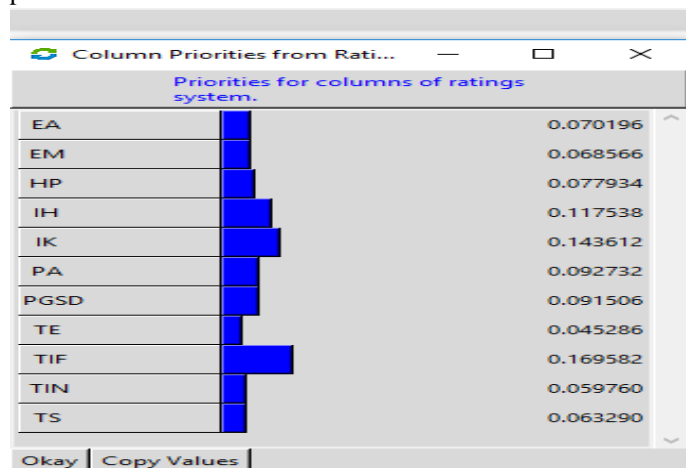
Perbandingan berpasangan yang terakhir dapat dilihat pada Gambar 11 yaitu menunjukkan perbandingan berpasangan node-node pada cluster alternatif terhadap node kebutuhan lulusan pada cluster kriteria.



Gambar 11. Perbandingan Berpasangan Antar Node pada Cluster Alternatif Terhadap Node Kebutuhan Lulusan pada Cluster Kriteria

Hasil Perhitungan AHP

Nilai perbandingan berpasangan yang telah dimasukkan selanjutnya dilakukan perhitungan sesuai dengan metode AHP menggunakan alat analisis *SuperDecisions*. Hasil dari perhitungan tersebut yaitu berupa alternatif keputusan program studi yang direkomendasikan bagi pengambil keputusan. Alternatif yang memiliki nilai prioritas terbesar merupakan alternatif keputusan yang direkomendasikan. Gambar 12 menunjukkan hasil nilai prioritas dari masing-masing alternatif keputusan.



Gambar 12. Hasil Nilai Prioritas Alternatif

Berdasarkan hasil nilai prioritas yang ada pada Gambar 12 maka dapat dilihat bahwa yang menjadi alternatif keputusan yang direkomendasikan pertama adalah Program Studi TIF (Teknik Informatika) dengan nilai prioritas tertinggi yaitu 0.169582, yang kedua adalah Program Studi Ilmu Keperawatan (IK) dengan nilai prioritas 0.143612, dan yang ketiga adalah Program Studi Ilmu Hukum (IH) dengan nilai prioritas 0.117538.

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa SPK pemilihan program studi dengan metode AHP menggunakan *SuperDecisions* menghasilkan nilai prioritas dari masing-masing alternatif keputusan sehingga dapat direkomendasikan alternatif yang memiliki nilai prioritas yang tertinggi.

PUSTAKA

- Iswanti, S. & Lutfiani, A. 2016. Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Jurusan Bagi Calon Mahasiswa Baru STMIK AKAKOM. *Seminar Riset Teknologi Informasi*, Hal: 369-377.
- Prabowo, Y. S., Kusriani, & Sunyoto, A. 2015. Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Jurusan SNMPTN Bagi Siswa SMAN 7 Purworejo. *Konferensi Nasional Sistem & Informatika*, Hal: 180-185.
- Turban, E., Aronson, J.E. & Ting, P.L. 2005. *Decision Support Systems and Intelligent Systems*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Saaty, T.L. 1986. *Pengambilan Keputusan Bagi Para Pemimpin: Proses Hirarki Analitik Untuk Pengambilan Keputusan Dalam Situasi Yang Kompleks*, (diterjemahkan oleh: I. K. Peniwati). Pittsburgh: IPPM
- Saaty, T.L. 1994. *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory*. Pittsburgh: RWS Publication.
- Wijaya, R., Dwiyanoto, S., Wahyudi, S. & Krisnaningsih, E. 2015. Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Siswa Berprestasi Pada Sekolah Menengah Pertama Dengan Menggunakan Metode *Analytic Hierarchy Proses* (AHP). *Jurnal PROSISKO*, Hal: 27-40.

NANO ADSORBEN DARI BIOPOLIMER SELULOSA SEBAGAI PENYERAP TEMBAGA DALAM AIR

Shella Permatasari Santoso

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
Jalan Kalijudan No. 37, Surabaya 60114, Jawa Timur, Indonesia

Telp. (0313) 893933

E-mail: shella_p5@yahoo.com

ABSTRAK

Selulosa merupakan biopolimer yang dapat diekstrak dengan mudah dari berbagai macam bahan yang berserat. Selulosa dapat diperoleh dengan mudah dari tumbuh-tumbuhan berserat ataupun limbah seperti kertas, sekam padi, ampas tebu dan lainnya. Selulosa merupakan biopolimer yang dapat terdegradasi dengan mudah. Rantai selulosa yang panjang dapat diputus untuk mengekstrak bagian kristal yang terkandung didalamnya, yang disebut sebagai selulosa nanokristal (SNK). SNK memiliki luas area yang jauh lebih besar dibandingkan dengan selulosa, hal ini menyebabkan kemampuan adsorpsi SNK jauh lebih baik. Dalam penelitian ini SNK diekstrak dengan metode hidrolisis asam dari kertas saring sebagai sumber selulosa. Proses hidrolisis dilakukan dengan menggunakan larutan asam sulfat 64 %berat pada suhu 45° C selama 1 jam. Sebanyak 0.3 gram SNK dapat terekstrak dari 10 gram kertas saring. Kemampuan SNK untuk menghilangkan logam tembaga dari air diuji secara adsorpsi. Didapatkan bahwa dalam jangka waktu 1 jam, SNK mampu menyerap sebanyak 8.7234 mg Cu per g SNK. Kapasitas adsorpsi SNK dapat ditingkatkan dengan memodifikasinya menggunakan batuan mineral atau surfaktan.

Kata Kunci: Selulosa, Selulosa nanokristal, Adsorben, Adsorpsi, Tembaga.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Logam tembaga banyak sekali diaplikasikan untuk melapisi pipa-pipa yang digunakan dalam sistem pengaliran air. Dalam kurun waktu tertentu lapisan tembaga dapat terkikis sehingga menyebabkan ion-ion penyusunnya ikut terlarut dalam air. Ion tembaga (Cu^{2+}) yang terkandung dalam air dapat menyebabkan kontaminasi terhadap sistem perairan dalam skala yang besar, seperti sungai. Bukan hanya itu, jika masuk ke dalam tubuh manusia, Cu^{2+} dapat menyebabkan oksidasi yang berakibat pada rusaknya jaringan sel tubuh. Kontaminasi logam tembaga dalam air dapat juga berasal dari limbah-limbah industri yang menghasilkan metal, seperti industri semikonduktor.

Adsorpsi merupakan salah satu cara yang paling praktis dan efektif untuk menghilangkan ion-ion logam dari dalam air. Umumnya, karbon aktif digunakan dalam proses adsorpsinya. Akan tetapi karbon aktif memiliki biaya yang relatif mahal sehingga tidak layak untuk digunakan dalam skala yang besar. Selulosa nanokristal (SNK) dapat digunakan untuk menggantikan karbon aktif tersebut. Bahan baku selulosa sendiri sangat mudah ditemukan dari bahan-bahan yang ekonomis seperti kertas bekas, ampas tebu, sekam padi, dan lainnya. Selain itu selulosa juga bersifat biodegradable sehingga dapat didegradasi dengan mudah oleh mikroorganisme dan tidak mencemari lingkungan. SNK sendiri memiliki luas area yang jauh lebih besar dibandingkan selulosa sehingga kemampuan adsorpsinya lebih tinggi. Melihat hal ini, SNK merupakan material yang berpotensi sebagai adsorben untuk Cu^{2+} .

1.2 Rumusan Masalah

Pencemaran ion logam khususnya tembaga (Cu^{2+}) banyak dijumpai dalam sistem perairan. Pencemaran dari Cu^{2+} berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan. Adsorben yang selama ini digunakan, yaitu karbon aktif, kurang ekonomis sehingga tidak layak digunakan dalam skala besar.

1.3 Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini adalah mengekstrak SNK dari bahan selulosa yaitu kertas saring dan mempelajari kemampuan adsorpsinya terhadap Cu^{2+} .

1.4 Tinjauan Pustaka

Selulosa nanokristal (SNK) merupakan biomaterial yang didapatkan dari proses hidrolisa asam terhadap serat selulosa. SNK umumnya berbentuk batang yang memiliki dimensi panjang yang bervariasi antara 50 – 200 nm. Variasi dimensi panjang dari SNK sangat bergantung pada kondisi serta metode pada proses pembuatannya (Fleming

et al., 2001; Park et al., 2010; Beck et al., 2012). Jika dibandingkan dari komponen induknya (selulosa), SNK memiliki beberapa keunggulan antara lain: luas permukaan yang tinggi, dimensi yang lebih kecil (skala nano), serta kekuatan modulus yang tinggi (Fleming et al., 2001; Beck et al., 2012; Fan and Li, 2012). Sifatnya yang kompatibel secara biologis membuat SNK mungkin untuk diaplikasikan dalam bidang medis (Fleming et al., 2001; Bondeson et al., 2006). Metode ekstraksi SNK dengan hidrolisis asam merupakan proses yang paling praktis dibandingkan dengan metode lain seperti hidrolisa dengan enzim atau mikroba ataupun oksidasi secara kimia (Bondeson et al., 2006; Fan and Li, 2012). Dalam proses hidrolisis asam, ion-ion dari senyawa asam akan memutus rantai selulosa yang panjang sehingga bagian kristal selulosa berukuran nano terpapar (Peng et al., 2001). Dengan bantuan dari kekuatan dorongan secara ultrasonik, kristal selulosa tersebut dapat terekstrak keluar. Selain itu kekuatan dorongan ultrasonik juga membantu menyeragamkan ukuran SNK (Habibi et al., 2010).

Logam tembaga (Cu) merupakan elemen mikro yang esensial untuk tubuh dalam membantu penyerapan nutrisi, transfer oksigen dalam darah, stimulasi otak dan lainnya. Disamping kegunaannya yang penting bagi tubuh, Cu dapat bersifat toksik apabila menumpuk dalam konsentrasi yang tinggi, dimana batas normal Cu dalam tubuh adalah 1.4 – 2.1 mg/kg berat tubuh dewasa (Lajunen et al., 1997; Kosasih et al., 2010). Selain itu logam Cu juga dapat memicu munculnya senyawa oksidatif yang bukan hanya mengganggu kesehatan manusia tetapi juga makhluk hidup lain yang terpapar Cu secara berlebihan (Greenberg, 2005).

Adsorpsi merupakan metode primitif yang banyak dilakukan untuk menghilangkan berbagai macam senyawa berbahaya termasuk logam (Hameed et al., 2007; Almeida et al., 2009; Darvishi and Morsali, 2011; Chen et al., 2013). Adsorben yang ideal adalah material yang memiliki pori dan luas permukaan yang tinggi. Karbon aktif merupakan salah satu jenis adsorben yang paling umum digunakan dalam berbagai macam proses adsorpsi (Freundlich, 1932; Deng et al., 2011). Batuan mineral seperti bentonit dan zeolit juga seringkali digunakan untuk adsorpsi. Dengan memanfaatkan pori-pori yang tersusun dari lapisan silikat dan alumina, batuan mineral cocok digunakan untuk adsorpsi berbagai macam senyawa berbahaya (Banat et al., 2000). Selulosa memiliki sifat berpori sehingga juga cocok digunakan sebagai adsorben (Annadurai et al., 2002). Proses adsorpsi sendiri dapat berlangsung secara kimia maupun fisik (Cherifi et al., 2013). Adsorpsi secara kimia membutuhkan suhu yang relatif tinggi untuk memaksimalkan proses adsorpsi. Sebaliknya adsorpsi secara fisika lebih cenderung meningkat pada suhu yang rendah.

1.5 Metodologi Penelitian

Material yang digunakan dalam pembuatan SNK adalah kertas saring kasar Whatman no.1. Bahan-bahan kimia yang digunakan adalah asam sulfat (H_2SO_4 , 96% murni, merk Sigma Aldrich, Germany), tembaga nitrat ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, 98% murni, merk Sigma Aldrich, Germany). Larutan yang digunakan dalam penelitian dibuat baru setiap kali percobaan dijalankan. Semua bahan kimia digunakan secara langsung tanpa proses pemurnian lebih lanjut.

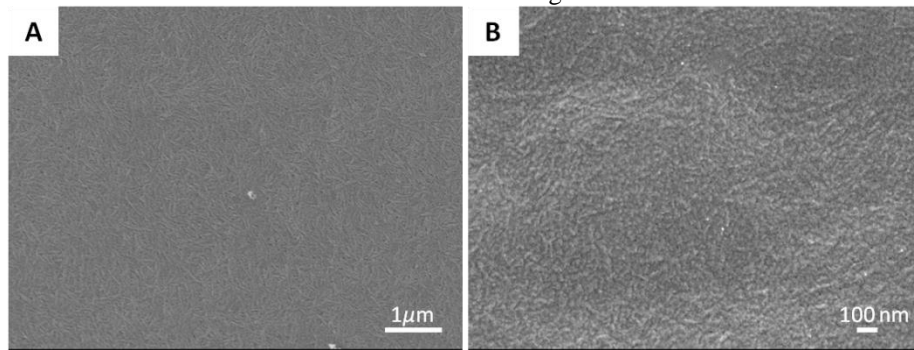
Dalam penelitian ini terdapat dua tahapan yang dilakukan, yaitu (1) pembuatan SNK dan (2) adsorpsi antara SNK dan Cu^{2+} . Tahapan pertama (1), kertas saring dihaluskan dengan menggunakan blender kering dan kemudian diambil sebanyak 10 gram untuk dihidrolisa dengan 100 mL asam sulfat (64 %berat/volume) pada suhu 45 °C, selama 1 jam. Setelah proses hidrolisis selesai, 1 L air distilasi ditambahkan untuk menghentikan reaksi. SNK yang didapatkan dari hasil hidrolisa asam kemudian didialisis hingga pHnya netral. SNK netral dikeringkan dengan oven 50 °C selama 3 hari dan disimpan dalam desikator CaCl_2 hingga saatnya digunakan. Karakterisasi SNK dilakukan dengan menggunakan mikroskop elektron (SEM, JEOL JSM-639 *scanning electron microscope* dengan lapisan Pd/Pt). Gugus fungsional dari SNK dianalisa dengan menggunakan spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) menggunakan mesin Bio-Rad FTS-3500GX pada nomor gelombang 4000 hingga 400 cm^{-1} , KBr digunakan sebagai *background* dalam analisa FTIR.

Tahapan kedua (s), adsorpsi dari SNK terhadap tembaga dilakukan secara kinetika dan isoterm. Untuk adsorpsi secara kinetik, larutan tembaga nitrat $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ dengan konsentrasi 75, 100 dan 150 ppm disiapkan. Sebanyak 0.3 g SNK dimasukkan ke dalam wadah berisi larutan tembaga nitrat tersebut, sampling dilakukan dalam selang waktu 10 menit hingga tercapai kondisi ekuilibrium. Untuk adsorpsi secara isoterm digunakan larutan tembaga nitrat 150 ppm, kemudian 0.1 – 1.0 gram SNK ditambahkan ke dalam larutan tersebut. Langkah ini dilakukan dalam tiga variasi suhu yaitu 30, 45 dan 60 °C dalam waktu 1 jam. Titrasi SNK dan Cu^{2+} dilakukan dengan mencampurkan 150 ppm larutan tembaga nitrat dan 0.2 – 0.4 %berat/volume SNK yang kemudian dititrasi dengan NaOH 0.1 M yang telah distandarisasi.

2. PEMBAHASAN

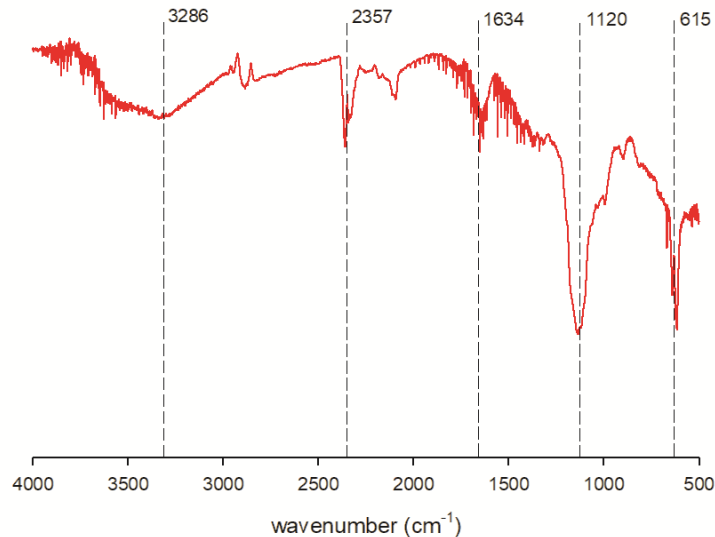
2.1 Karakterisasi SNK

Pengekstrakan SNK dilakukan dengan menggunakan asam kuat. Asam kuat dalam hal ini membantu untuk mengekspos sisi kristal dari selulosa serta membantu pemutusan rantai selulosa yang panjang. Setelah bagian kristal (SNK) terekstrak, SNK tersebut masih bersifat sangat asam karena ion dari asam kuat yang tertempel di permukaannya. Metode dialisis dengan menggunakan membran merupakan metode yang paling praktis untuk menetralkan SNK, metode filtrasi biasa tidak mungkin untuk dilakukan mengingat ukuran SNK yaitu nano. Dengan menggunakan membran yang selektif pada ukuran partikel tertentu. Membran dialisis dengan ukuran 100 kDa digunakan sehingga semua partikel SNK yang berukuran lebih dari 10 nm tidak dapat lolos dari membran, partikel-partikel SNK yang berukuran nano tetap tertahan dalam membran dan hanya ion-ion asam yang dapat lolos. *Scanning electron microscopy* telah dilakukan untuk mengamati morfologi dari SNK yang diekstrak dari kertas saring. Hasil analisa seperti yang terlihat pada **Gambar 1(a)** menunjukkan bentuk SNK yang seperti batang berukuran ~100 nm. Pada **Gambar 1 (b)**, bentuk batang berukuran nano terlihat lebih jelas. Gambar tersebut menunjukkan bahwa SNK telah berhasil diekstrak dari kertas saring.



Gambar 1. Fotografi SEM untuk SNK dengan (a) perbesaran 15.000 kali dan (b) perbesaran 30.000 kali

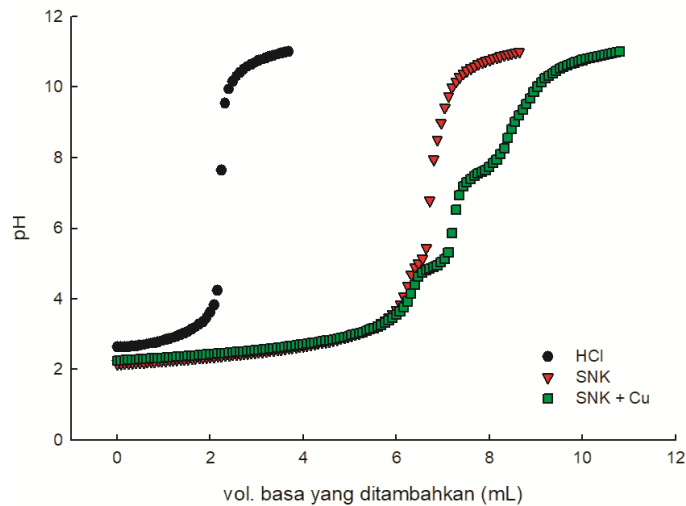
Analisa gugus fungsional dari SNK dilakukan dengan menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) seperti yang ditunjukkan di **Gambar 2**. Puncak pada nomor gelombang (*wavenumber*) 3286 cm^{-1} menandakan adanya peregangan gugus hidroksil (O-H). Puncak pada 2357 cm^{-1} muncul karena adanya peregangan dari gugus C-H. Puncak pada nomor gelombang 1634 cm^{-1} muncul dikarenakan adanya pembengkokan dari gugus O-H. Peregangan dari gugus C-O serta C-C ditunjukkan dari nomor gelombang 1120 cm^{-1} . Pembengkokan dari gugus C-H ditunjukkan pada nomor gelombang 615 cm^{-1} . Semua gugus fungsional yang teramati menandakan karakteristik dari SNK yang serupa dengan selulosa (Kondo, 1997; Habibi et al., 2010).



Gambar 2. Spektrum FTIR dari SNK

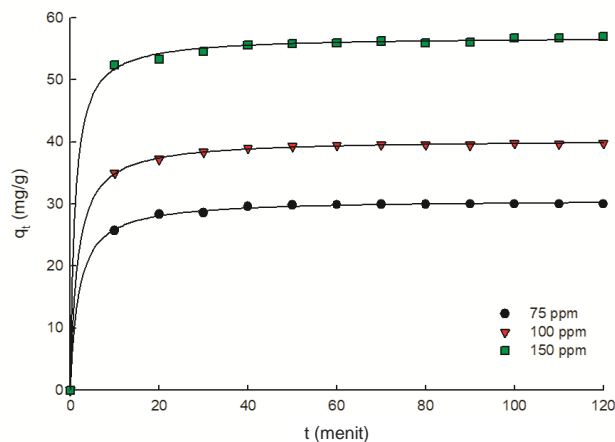
2.2 Adsorpsi

Titration antara SNK dan Cu^{2+} dilakukan untuk menentukan mekanisme adsorpsi yang terjadi (**Gambar 3**). Terlihat bahwa kurva titrasi SNK + Cu^{2+} memiliki bentuk yang berbeda dibandingkan dengan SNK sendiri. Kurva SNK + Cu^{2+} memiliki lebih banyak poin infleksi yang menandakan adanya deprotonasi ion hidrogen (Chandra et al., 2015) dari SNK yang berlanjut pada pembentukan kompleks (pengikatan antara SNK dan Cu^{2+}). Adanya perbedaan bentuk antara kedua kurva tersebut menunjukkan bahwa mekanisme adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi secara kimiawi. Selain itu, semakin banyaknya poin infleksi menunjukkan bahwa deprotonasi SNK meningkat dan hal ini menyebabkan SNK bermuatan semakin negatif sehingga daya tariknya (interaksi) dengan Cu^{2+} semakin kuat.



Gambar 3. Kurva titrasi untuk SNK dan pengikatan kompleks antara SNK dan Cu^{2+}

Model kinetika adsorpsi yang mengacu pada mekanisme adsorpsi secara kimiawi adalah Pseudo orde kedua (Lagergren, 1898; Freundlich, 1932)(Ghasemi et al., 2013). Dari model kinetika di **Gambar 4**, didapatkan bahwa kondisi kesetimbangan (ekuilibrium) dalam adsorpsi SNK terhadap Cu^{2+} tercapai dalam waktu kurang dari 1 jam. Parameter dari Pseudo orde kedua ditabulasikan di **Tabel 1**, didapatkan bahwa laju reaksi (k_2) mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya konsentrasi awal dari adsorbat (Cu^{2+}). Hal ini disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi dari adsorbat semakin banyak pula ion adsorbat dalam larutan. Ion adsorbat merupakan tenaga dorongan (*driving force*) yang berperan dalam peningkatan laju reaksi adsorpsi. Nilai dari derajat kesesuaian (R^2) menunjukkan nilai mendekati 1, menandakan bahwa model yang digunakan sesuai dengan data eksperimen yang diperoleh. Hal ini juga mendukung bahwa mekanisme adsorpsi dalam hal ini terjadi secara kimiawi.

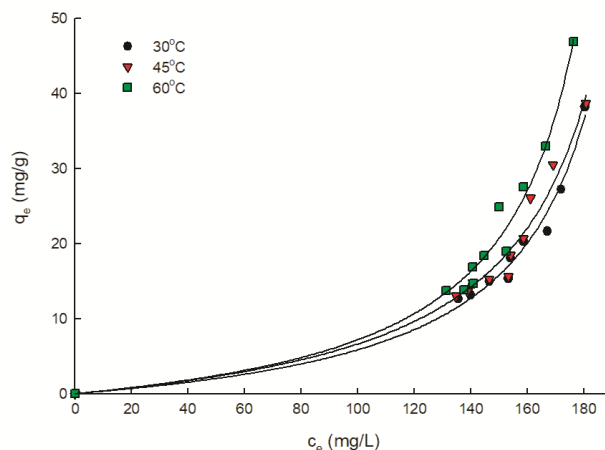


Gambar 4. Kinetika adsorpsi antara SNK dan Cu^{2+}

Tabel 1. Kinetika adsorpsi ion tembaga Cu^{2+} terhadap SNK

Konsentrasi (ppm)	Parameter	Satuan
75	k_2 0.0128	mg/g min
	R^2 0.9995	
100	k_2 0.0158	mg/g min
	R^2 0.9999	
150	k_2 0.0177	mg/g min
	R^2 0.9993	

Adsorpsi secara isoteris dilakukan pada suhu 30, 45 dan 60 °C seperti yang terlihat pada **Gambar 5**, parameter adsorpsi isoterm dapat dilihat di **Tabel 2**. Model adsorpsi isoterm yaitu Langmuir digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi (q_m) (Langmuir, 1916; Rahardjo et al., 2011; Soetardji et al., 2015). Didapatkan bahwa q_m semakin meningkat seiring dengan kenaikan suhu, dimana hal ini adalah karakteristik dari adsorpsi kimiawi. Kapasitas adsorpsi tertinggi didapatkan pada suhu 60 °C yaitu sebesar 8.7234 mg Cu^{2+} dapat diserap oleh 1 g SNK. Nilai R^2 menunjukkan bahwa model Langmuir yang digunakan sesuai dengan data eksperimental yang diperoleh.



Gambar 5. Isoterm adsorpsi antara SNK dan Cu^{2+}

Tabel 2. Isoterm adsorpsi ion tembaga Cu^{2+} terhadap SNK

Suhu (°C)	Parameter	Satuan
30	K_L 0.0367	L/g
	a_L 0.0049	L/mg
	q_m 7.4898	mg/g
	R^2 0.9758	
45	K_L 0.0356	L/g
	a_L 0.0046	L/mg
	q_m 7.7391	mg/g
	R^2 0.9688	
60	K_L 0.0410	L/g
	a_L 0.0047	L/mg
	q_m 8.7234	mg/g
	R^2 0.9817	

2.3 Persamaan

Kinetika adsorpsi diselidiki dengan cara memplot banyaknya metal Cu yang teradsorpsi selama waktu tertentu (q_t) terhadap konsentrasi Cu yang tersisa (C_t), dimana q_t (mg/g) dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

$$q_t = (C_0 - C_t) \times V / m \quad (1)$$

C_0 merupakan konsentrasi metal awal, V adalah volume larutan yaitu 50 mL, dan m adalah massa adsorben.

Persamaan kinetika Pseudo orde kedua digunakan untuk menyelidiki adsorpsi kinetik, yaitu seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2).

$$q_t = (q_e^2 \times k_2 \times t) / (1 + q_e^2 \times k_2 \times t) \quad (2)$$

dimana q_e (mg/g) merupakan kapasitas ekuilibrium dan k_2 (mg/ g min) merupakan konstanta laju reaksi Pseudo orde kedua.

Persamaan Langmuir digunakan untuk menyelidiki adsorpsi isotherm, yaitu seperti yang ditunjukkan pada persamaan (3).

$$q_e = (K_L \times C_t) / (1 + a_L \times C_t) \quad (3)$$

dimana K_L (L/g) merupakan konstanta yang menentukan kapasitas adsorpsi dan a_L (L/mg) merupakan afinitas adsorpsi. Kapasitas adsorpsi (q_m) didapatkan dari rasio perbandingan antara K_L dan a_L .

3. KESIMPULAN

Selulosa nanokristal (SNK) telah berhasil diekstrak dengan metode hidrolisa menggunakan asam sulfat 64 %berat/volume pada suhu 45 °C selama 1 jam. Bentuk SNK yang berupa batang berukuran nanometer terlihat dari SEM. Gugus fungsional SNK dibuktikan melalui analisa FTIR. SNK mampu menyerap ion logam tembaga dari air dengan cepat pada suhu yang tinggi (dalam penelitian ini 60 °C). Mekanisme adsorpsi SNK terjadi secara kimiawi terhadap Cu.

Saran untuk ke depan: kapasitas adsorpsi dari SNK dapat lebih ditingkatkan lagi dengan memodifikasi SNK menggunakan surfaktan, polimer alami lainnya (kitosan atau alginat) ataupun batuan mineral (zeolit, bentonite, atau monmorilonit).

PUSTAKA

- Almeida, C. A., Debacher, N. A., Downs, A. J., Cottet, L. & Mello, C. A. 2009. Removal of methylene blue from colored effluents by adsorption on montmorillonite clay. *J. Colloid. Interface. Sci.*, 332: 46-53.
- Annadurai, G., Juang, R. S. & Lee, D. J. 2002. Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions. *J. Hazard. Mater.*, 92: 263-274.
- Banat, F. A., Al-Bashir, B., Al-Asheh, S. & Hayajneh, O. 2000. Adsorption of phenol by bentonite. *Environ. Pollut.*, 107: 391-398.
- Beck, S., Bouchard, J. & Berry, R. 2012. Dispersibility in Water of Dried Nanocrystalline Cellulose. *Biomacromolecules*, 13: 1486-1494.
- Bondeson, D., Mathew, A. & Oksman, K. 2006. Optimization of the isolation of nanocrystals from microcrystalline cellulose by acid hydrolysis. *Cellulose*, 13: 171-180.
- Chandra, I. K., Angkawijaya, A. E., Santoso, S. P., Ismadji, S., Soetaredjo, F. E. & Ju, Y. H. 2015. Solution equilibria studies of complexes of divalent metal ions with 2-aminophenol and 3,4-dihydroxybenzoic acid. *Polyhedron*, 88: 29-39.
- Chen, R. C., Wei, K. J., Wang, T. M., Yu, Y. M., Li, J. Y., Lee, S. H., Wang, W. H., Ren, T. J. & Tsai, C. W. 2013. Simultaneous quantification of antibiotic dyes in aquatic products and feeds by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *J. Food. Drug. Anal.*, 21: 339-346.
- Cherifi, H., Fatiha, B. & Salah, H. 2013. Kinetic studies on the adsorption of methylene blue onto vegetal fiber activated carbons. *Appl. Surf. Sci.*, 282: 52-59.
- Darvishi, Z. & Morsali, A. 2011. Synthesis and characterization of nano-bentonite by solvothermal method. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 377: 15-19.
- Deng, H., Lu, J., Li, G., Zhang, G. & Wang, X. 2011. Adsorption of methylene blue on adsorbent materials produced from cotton stalk. *Chem. Eng. J.*, 172: 326-334.
- Fan, J. & Li, Y. 2012. Maximizing the yield of nanocrystalline cellulose from cotton pulp fiber. *Carbohydr. Polym.*, 88: 1184-1188.
- Fleming, K., Gray, D. G. & Matthews, S. 2001. Cellulose crystallites. *Chemistry*, 7: 1831-1835.
- Freundlich, H. 1932. Of the adsorption of gases. Section II. Kinetics and energetics of gas adsorption. Introductory paper to section II. *Trans. Faraday. Soc.*, 28: 195-201.

- Ghasemi, N., Tamri, P., Khademi, A., Nezhad, N. S. & Alwi, S. R. W. 2013. Linearized Equations of Pseudo Second-order Kinetic for the Adsorption of Pb(II) on Pistacia Atlantica Shells. *IERI Procedia*, 5: 232-237.
- Greenberg, M. I. 2005. A Review of : "Critical Care Toxicology: Diagnosis and Management of the Critically Poisoned Patient.". *Clin. Toxicol.*, 43: 593.
- Habibi, Y., Lucia, L. A. & Rojas, O. J. 2010. Cellulose Nanocrystals: Chemistry, Self-Assembly, and Applications. *Chem. Rev.*, 110: 3479-3500.
- Hameed, B. H., Din, A. T. & Ahmad, A. L. 2007. Adsorption of methylene blue onto bamboo-based activated carbon: kinetics and equilibrium studies. *J. Hazard. Mater.*, 141: 819-825.
- Kondo, T. 1997. The assignment of IR absorption bands due to free hydroxyl groups in cellulose. *Cellulose*, 4: 281-292.
- Kosasih, A. N., Febrianto, J., Sunarso, J., Ju, Y. H., Indraswati, N. & Ismadji, S. 2010. Sequestering of Cu(II) from aqueous solution using cassava peel. *J. Hazard. Mater.*, 180: 366-374.
- Lagergren, S. 1898. About the theory of so-called adsorption of soluble substances. *K. Sven. vetensk. akad. handl.*, 24: 1-39.
- Lajunen, L. H. J., Portanova, R., Piispanen, J. & Tolazzi, M. 1997. Stability constants for α -Hydroxycarboxylic acid complexes with protons and metal ions and the accompanying enthalpy changes**-- Part I: Aromatic *ortho*-Hydroxycarboxylic acids. *Pure & Appl Chem*, 69: 329-381.
- Langmuir, I. 1916. The constitution and fundamental properties of solids and liquids. Part I. Solids. *J. Am. Chem. Soc.*, 38: 2221-2295.
- Park, S., Baker, J. O., Himmel, M. E., Parilla, P. A. & Johnson, D. K. 2010. Cellulose crystallinity index: measurement techniques and their impact on interpreting cellulase performance. *Biotechnol. Biofuels.*, 3: 10.
- Peng, B. L., Dhar, N., Liu, H. L. & Tam, K. C. 2001. Chemistry and applications of nanocrystalline cellulose and its derivatives: A nanotechnology perspective. *Can. J. Chem. Eng.*, 9999: 1-16.
- Rahardjo, A. K., Susanto, M. J. J., Kurniawan, A., Indraswati, N. & Ismadji, S. 2011. Modified Ponorogo bentonite for the removal of ampicillin from wastewater. *J. Hazard. Mater.*, 190: 1001-1008.
- Soetardji, J. P., Claudia, J. C., Ju, Y. H., Hriljac, J. A., Chen, T.-Y., Soetaredjo, F. E., Santoso, S. P., Kurniawan, A. & Ismadji, S. 2015. Ammonia removal from water using sodium hydroxide modified zeolite mordenite. *RSC Adv.*, 5.

PENGEMBANGAN MODEL *VERTICAL CONSTRUCTED WETLAND* SEBAGAI ALTERNATIF SISTEM PENGOLAHAN LIMBAH DOMESTIK PERMUKIMAN KAMPUNG KOTA

Haryati Sutanto¹, Paulus Bawole²

Program Studi Biologi, Fakultas Bioteknologi, Universitas Kristen Duta Wacana
Jalan Dr. Wahidin No. 5-25, Yogyakarta 55224
Telp. (0274) 563929

² Program Studi Arsitektur, Fakultas Arsitektur & Desain, Universitas Kristen Duta Wacana
Jalan Dr. Wahidin No. 5-25, Yogyakarta 55224
E-mail: haryati @staff.ukdw.ac.id, paulus @staff.ukdw.ac.id

ABSTRAK

Kawasan kampung kota sering dinilai sebagai kawasan yang tidak layak huni. Kondisi permukiman yang sudah berdiri secara padat menyulitkan untuk membuat sistem pengolahan limbah rumah tangga sehingga limbah dialirkan dan dibuang langsung ke badan air yang melewati permukiman. Pengembangan model pengolahan limbah domestik tepat guna dengan proses pengolahan limbah yang efisien, sederhana dan murah tanpa meninggalkan aspek-aspek desain permukiman seperti estetika, kenyamanan dan kesehatan lingkungan menjadi hal yang perlu dipikirkan dengan mempertimbangkan keterbatasan lahan yang tersedia di area permukiman kampung kota dan tingkat perekonomian masyarakat. Dengan pertimbangan aspek ekonomis dan ketersediaan lahan di daerah kampung kota, model “vertical constructed wetland / vertical CW” menggunakan tanaman air yang juga merupakan tanaman hias dapat dipertimbangkan sebagai alternatif sistem pengolahan limbah cair rumah tangga di permukiman kampung kota. Proses pengolahan air limbah dalam system CW mencakup banyak proses dan mekanisme dalam penghilangan kontaminan melalui proses fisik, biologi dan kimia.

Kata Kunci: Kampung Kota, Pengolahan Limbah, “Constructed Wetland”

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kota merupakan sebuah wilayah tempat orang dapat bertemu melakukan aktivitas seperti berdagang, bertukar gagasan atau sebagai tempat untuk bersantai. Kota dianggap seperti sebuah “buku” yang dapat dibaca dengan baik. Jalan-jalan setapak, alun-alun dan taman adalah “tata bahasa” sebuah kota. Kota yang manusiawi dengan fasilitas di dalamnya seperti jalanan, lapangan dan taman yang dirancang dengan teliti akan menciptakan kesenangan bagi pengunjung dan orang yang melewatinya, juga bagi yang tinggal menetap, bekerja atau bermain di kota tersebut. (Gehl, 2010)

Dalam perencanaan dan perancangan suatu kota aspek infrastruktur perlu diperhatikan. Jika dikaitkan dengan permukiman dan perkotaan, infrastruktur mengacu pada sistem fisik yang menyediakan transportasi, pengairan, drainase, bangunan-bangunan gedung dan fasilitas publik lainnya untuk memenuhi kebutuhan dasar manusia. Kualitas dan kuantitas fasilitas infrastruktur tergantung dari tingkat kesejahteraan manusia yang melakukan kegiatan di daerah tersebut

Dari ilustrasi gambar di atas (gambar 1.) dapat dikatakan bahwa lingkungan alam merupakan pendukung dasar dari semua sistem yang ada. Peran infrastruktur sebagai mediator antara sistem ekonomi dan sosial dalam tatanan kehidupan manusia dengan lingkungan alam menjadi sangat penting. Infrastruktur yang kurang berfungsi akan memberi dampak yang besar bagi manusia. Sebaliknya, infrastruktur yang berlebihan untuk kepentingan manusia tanpa memperhitungkan kapasitas daya dukung lingkungan akan merusak alam yang pada hakekatnya akan merugikan manusia termasuk makhluk hidup lainnya.

Suatu perkotaan berkembang sejalan dengan meningkatnya jumlah penduduk yang bermukim di dalamnya. Bersamaan dengan bertambahnya jumlah penduduk kota-kota di dunia, dapat dipahami bahwa prinsip-prinsip “*environmental sustainability*” dan tanggung jawab sosial bukan hanya dibutuhkan untuk mengembangkan suatu kota, tetapi menjadi hal yang sangat penting untuk menjaga dan mempertahankan kualitas lingkungan kota yang baik.

Mengamati fasilitas infrastruktur pada permukiman masyarakat golongan bawah yang termarginalkan di kawasan perkotaan, dapat dipahami bahwa fasilitas infrastruktur yang tersedia di dalam sangat minim. Keadaan ini disebabkan karena masyarakat yang tinggal di permukiman tersebut mempunyai penghasilan yang relative rendah. Selain itu bantuan dari pihak pemerintah maupun swasta untuk mengembangkan permukiman mereka relative kecil.

Banyak masyarakat miskin di negara berkembang termasuk Indonesia hanya memiliki sedikit pilihan selain tinggal di kawasan kumuh dan di lingkungan yang tidak aman. Ditempat tersebut mereka mempunyai ancaman ganda yaitu masalah kesehatan dan keamanan bertempat tinggal. Permukiman kumuh dan ilegal biasanya mempunyai fasilitas infrastruktur dasar yang sangat kurang. Permasalahan lingkungan perairan dapat menjadi masalah yang serius jika dikaitkan dengan pertumbuhan penduduk di Indonesia yang berarti juga meningkatnya volume air limbah domestik yang berasal dari permukiman. Air limbah domestik harus dapat ditangani dengan baik supaya tidak menjadi ancaman terhadap kualitas suatu perairan karena dapat menyebabkan pencemaran perairan.

Semakin banyak ragam jenis kegiatan yang berkembang di daerah perkotaan sebagai akibat dari penambahan penduduk di perkotaan dan tuntutan kenyamanan yang meningkat menyebabkan bertambah pula volume dan karakter air limbah yang dibuang ke badan air. Sementara itu kapabilitas masyarakat golongan bawah relatif belum paham tentang bagaimana hidup dalam lingkungan permukiman yang sehat dan berkelanjutan. Tingkat perekonomian masyarakat yang tinggal di daerah ini pada umumnya berpenghasilan rendah bahkan masih cukup banyak yang tergolong masyarakat *grass root* dengan akses informasi yang relatif minim. Dengan semakin berkembangnya kawasan permukiman masyarakat kampung kota, kualitas lingkungan yang ada semakin buruk dan banyak orang menilai bahwa kawasan kampung kota merupakan kawasan yang tidak layak untuk dihuni. Salah satu penyebab masalah terjadinya pencemaran limbah yang berasal dari rumah tangga maupun dari industri atau kegiatan lainnya karena limbah tersebut dibuang langsung ke badan air tanpa melewati sistem pengolahan limbah.

Usaha mengolah limbah cair sebelum dibuang ke badan air atau ke tempat lainnya adalah tindakan yang sangat perlu diperhatikan. Kondisi permukiman yang sudah berdiri secara padat seperti gambaran umum yang selalu di dapat di lingkungan kampung kota, menyulitkan untuk membuat sistem pengolahan limbah rumah tangga. Permasalahan ini menyebabkan limbah dibuang secara langsung ke badan air yang melewati permukiman.

Pengembangan model pengolahan limbah domestik tepat guna dengan proses pengolahan limbah yang efisien, sederhana dan murah tanpa meninggalkan aspek-aspek desain permukiman seperti estetika, kenyamanan dan kesehatan lingkungan dengan mempertimbangkan keterbatasan lahan yang tersedia di area permukiman kampung kota dan tingkat perekonomian masyarakat menjadi tujuan dilakukannya penelitian dengan skala laboratorium ini. Pertimbangan aspek ekonomis dan ketersediaan lahan di daerah kampung kota, model *vertical constructed wetland* menggunakan tanaman air yang juga merupakan tanaman hias dapat dipertimbangkan sebagai alternatif sistem pengolahan limbah cair rumah tangga di permukiman kampung kota.



Gambar 1. Hubungan Antara Sistem Sosial, Ekonomi, infrastruktur dan lingkungan alam yang harmoni

1.2. Tinjauan Pustaka

Banyak permukiman informal tumbuh dan berkembang di ruang yang tidak dimanfaatkan seperti di daerah sepanjang sungai dan rel kereta api, di bawah jembatan dan di ruang-ruang kota lainnya yang dibiarkan kosong dalam waktu yang cukup lama. Perkembangan permukiman semacam ini merupakan salah satu ciri khas yang ada di

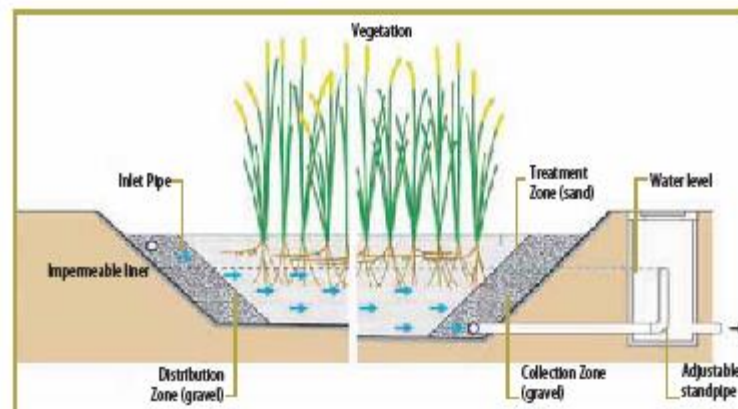
kota-kota besar negara berkembang. Pemukiman informal sering dinamakan juga sebagai *squatter settlement* yang dapat didefinisikan sebagai suatu areal permukiman di suatu kota yang dihuni oleh masyarakat yang sangat miskin yang tidak mempunyai kepemilikan lahan yang legal. Oleh karena itu mereka menempati lahan –lahan kosong di tengah kota baik berupa lahan privat maupun lahan umum (Srinivas, 2005)

Populasi manusia merupakan ancaman terbesar dari masalah lingkungan hidup di Indonesia maupun di dunia. Banyak contoh kasus pencemaran dan kerusakan lingkungan yang ditimbulkan dari aktivitas manusia, baik pencemaran air, pencemaran udara maupun pencemaran tanah, yang akhirnya akan merugikan manusia itu sendiri (Pramudito, 2014)

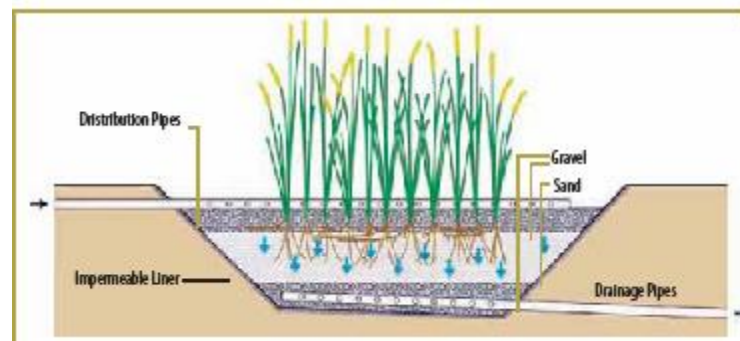
Karena pengelolaan lingkungan hidup serta permasalahan yang bersifat lintas sektor dan wilayah sangat kompleks, maka untuk pelaksanaan pembangunan diperlukan perencanaan dan pelaksanaan pengelolaan lingkungan hidup yang sejalan dengan prinsip pembangunan berkelanjutan yang melibatkan berbagai pihak (Kudhori, 2002)

Proses pengolahan air limbah yang dikembangkan di negara-negara maju yang secara teknologi sudah maju menggunakan mekanisasi tinggi atau energy yang besar, bukan saja tidak cocok bagi negara-negara berkembang. Pengembangan proses yang sederhana dan murah merupakan pemecahan paling cocok. Penanganan air limbah yang akan dibuang dalam suatu perairan dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu secara fisik, kimia maupun secara biologi. Banyak penelitian yang sangat intensif dilakukan untuk meningkatkan proses-proses yang berlangsung dan penerapannya. Penanganan limbah secara biologi dapat menjadi alternative system pengolahan yang sederhana dan murah dengan memanfaatkan kemampuan mikrobial dan organisme lainnya yang banyak terdapat di alam.

Sistem lahan basah buatan (*constructed wetland / CW*) dapat menjadi salah satu alternative pengolahan limbah dengan aspek-aspek tersebut dan dapat dikembangkan menjadi alternative solusi permasalahan pengolahan lingkungan di kawasan permukiman kampung kota. Aspek-aspek seperti penyediaan bahan, keefektifan dan kecocokan proses dengan iklim yang ada di Indonesia, terjangkauanya biaya operasional serta mekanisme konsep sederhana yang diterapkan dapat dimengerti oleh masyarakat karena teknologi yang digunakan bersifat alami, menjadikan keunggulan tersendiri bagi system yang meniru konsep lahan basah alamiah. Dari seriap penelitian skala laboratorium menunjukan hasil bahwa system lahan basah buatan mampu mengolah limbah domestic maupun limbah industry sehingga effluentnya setelah melewati system CW memiliki kualitas yang lebih baik (Bawole & Prihatmo, 2011; Bawole & Prihatmo, 2012; Bawole, 2015; Bawole 2016)



Gambar 2. Potongan Desain CW dengan Aliran Horizontal



Gambar 3. Potongan Desain CW dengan Aliran Vertical

CW merupakan teknologi pengolahan, dirancang dengan meniru proses yang ditemukan di ekosistem lahan basah alami, dibangun dengan biaya murah, air limbah diolah secara biologis. Sistem CW ini sekarang diterapkan sebagai alternatif pengolahan limbah yang sangat potensial atau dapat juga diterapkan sebagai system tambahan untuk pengolahan air limbah. CW didefinisikan sebagai cekungan dangkal yang terisi dengan semacam substrat filter, biasanya pasir atau kerikil, dan ditanami dengan vegetasi yang toleran terhadap air limbah. Air limbah ini dimasukkan ke dalam CW dengan system aliran di atas permukaan (*Free Water Surface / FWS*) atau melalui substrat (*Subsurface Flow Wetland / SSF*), dan dibuang keluar dari system melalui struktur yang mengontrol kedalaman air limbah di lahan basah yang tersaturasi dengan air limbah. Sebuah lahan basah, seperti ditunjukkan pada Gambar 2 & 3, buatan terdiri dari lima komponen utama berupa ruang cekungan, substrat, vegetasi, saluran dan system pengaturan inlet dan outlet (UN Habitat, 2008)

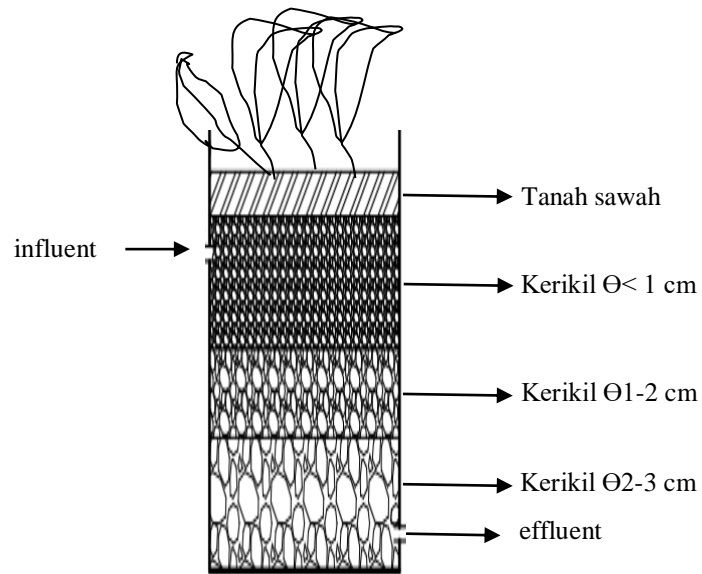
Jenis tumbuhan yang dapat beradaptasi dan tumbuh di lingkungan system lahan basah merupakan tumbuhan yang mampu beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang selalu dicirikan dengan kondisi air tergenang karena memiliki jaringan antar sel (aerenchym). Tanaman jenis ini mampu mengikat oksigen dari udara yang selanjutnya akan dikeluarkan pada daerah rizhosphere (Brix dalam Kurniadie, 2011). Akar dari tumbuhan gulma air mampu melepaskan oksigen ke bagian rizosphere sehingga dapat mendukung terjadinya proses nitrifikasi, presipitasi dari Fe dan Mn serta proses oksidasi senyawa racun (Kurniadie, 2011)

2. Metode Penelitian

Faktor estetika dalam desain pengolahan limbah dapat dipertimbangkan dengan menggunakan tanaman hias yang dapat tumbuh di lingkungan wetland yang selalu dicirikan dengan kehadiran air dalam sistem. Penelitian yang dilakukan bersifat eksperimental, dengan memberikan perlakuan terhadap sampel dengan melewati ke dalam sistem CW dengan media : pasir, kerikil dan batu kecil dikombinasikan dengan tanaman hias pisang hias (*Heliconia psittacorum*). Media yang digunakan sebagai media penyanggah dan menumbuhkan tanaman hias terdiri atas kerikil dengan diameter 2-3, kerikil berukuran 1-2cm, kerikil berukuran < 1 cm dan tanah sawah dengan perbandingan 3:2:3:1 (Gambar4.), yang disesuaikan dengan volume reaktor, dengan waktu tinggal 3 hari.

Konsep aliran pada sistem adalah aliran dibawah permukaan media (SSF). Air limbah yang digunakan merupakan air limbah domestik yang terdiri dari *black water* dan *grey water*. Aliran air limbah diatur supaya tercapai waktu tinggal 3 hari. Debit air yang keluar (effluent) juga diatur hingga memperoleh kecepatan sama dengan kecepatan influent (debit air limbah yang masuk). Dilakukan aklimatisasi supaya tanaman hias akan beradaptasi dengan system CW selama 1-2 minggu. Setelah kondisi steady state tercapai, dilakukan sampling untuk pengukuran beberapa parameter :

- DO dengan DO meter
- BOD dengan metode Winkler
- Total Koliform dengan metode MPN



Gambar 4. Desain Reaktor Constructed Wetland



Gambar 5. Prototipe desain Reaktor Constructed Wetland



Gambar 6. Penampang susunan media di dalam reactor CW

3. HASIL & PEMBAHASAN

Hasil pengukuran beberapa parameter pada lahan basah skala laboratorium dengan menggunakan tanaman hias *Heliconia psittacorum* dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Rerata Beberapa Parameter terukur dan efisiensi penurunannya

Parameter	Influent	Effluent	Effisiensi Penurunan(%)
Suhu (°C)	27.69	27.6	-
DO (ppm)	2.57	6.53	-
BOD (ppm)	77.4	21.95	71.64
MPN Total Koliform (per 100 ml)	240.000	780.25	99.67

Proses pengolahan air limbah dalam system CW dapat terjadi melalui proses kimia fisika dan biologis yang merupakan hasil simbiosis antara tumbuhan dalam system CW dan mikroorganisme. Proses pengolahan dengan adanya komposisi media dalam CW memungkinkan adanya proses filtrasi dan sedimentasi. Proses adsorbsi dimungkinkan terjadi oleh media, mikroorganisme maupun system peakaran.

Seperti dijelaskan Suriawira (2003), proses bioremediasi dalam system CW tidak terjadi secara langsung melalui proses penyerapan oleh tanaman tetapi melalui tahapan proses penguraian terlebih dahulu oleh mikroorganisme yang kemudian dilanjutkan dengan proses penyerapan oleh tanaman. Melalui proses filtrasi, penguraian dan penyerapan ini, bahan-bahan organik sebagian akan mengalami bentuk yang lebih sederhana sementara yang lain akan diserap oleh tanaman sebagai nutrisi tanaman sehingga tanaman dapat tumbuh dengan baik dalam system seperti ditunjukan pada gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. Tanaman *Heliconia psittacorum* mengalami pertumbuhan dalam reactor CW

Tanaman memegang peranan dalam penyediaan oksigen yang secara prinsip terjadi karena adanya proses fotosintesis. Oksigen akan mengalir ke akar tumbuhan melalui batang setelah berdifusi melalui pori-pori daun sehingga akan terbentuk zona rizosfer yang kaya akan oksigen diseluruh permukaan akar (Suprihatin, 2014)

Pernyataan tersebut di atas dibuktikan dengan hasil pengukuran kandungan oksigen terlarut yang tinggi di beberapa titik kedalaman media CW mengikuti panjang akar tanaman pisang hias seperti ditunjukkan pada table 2. di bawah ini.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Oksigen Terlarut dan Kepadatan Fitoplankton di Beberapa Kedalaman Media

Parameter	Kedalaman Media CW		
	10 cm	40 cm	70 cm
Total Kepadatan Fitoplankton (ind/L)	348.000	248.000	1.411.000
DO (ppm)	3.52	2.95	2.73

Sampel diambil dari berbagai kedalaman (10, 40, 70 cm dari permukaan media), mewakili kepadatan populasi fitoplankton pada bagian atas, tengah dan dasar reaktor. Dari hasil pengukuran menunjukan bahwa masih ada kandungan oksigen terlarut yang dapat mendukung kehidupan dan aktivitas mikroorganisme (> 2 ppm). Pelepasan oksigen oleh akar tanaman air menyebabkan air atau media di sekitar rambut akar memiliki oksigen terlarut yang lebih tinggi sehingga memungkinkan menjadi mikro habitat untuk mikroorganisme aerob melakukan aktivitas penguraian. Hal ini terlihat dengan adanya efisiensi penurunan parameter organik yang ditunjukkan dengan nilai BOD mencapai $>70\%$.

Sementara itu efisiensi penurunan jumlah total koliform dapat mencapai 99.67%. Geen (2015) menyatakan bahwa proses utama yang terlibat dalam penghilangan pathogen adalah proses sedimentasi. Dari hasil pengukuran total koliform menunjukan efisiensi penurunan/penghilangan yang sangat besar (table 1.), hal ini menunjukan di dalam pengolahan dengan menggunakan system CW dengan tanaman hias, proses filtrasi yang terjadi dalam system CW juga sebagai kemungkinan proses lainnya yang memungkinkan turunnya jumlah bakteri pathogen. Sementara itu dari studi lainnya juga ditemukan bahwa dengan adanya ekskresi bakterisida dalam lingkungan mikro biofilm yang terbentuk merupakan salah satu kemungkinan mekanisme untuk menghilangkan total koliform. (Weber, 2008)

Proses fisik yang terjadi pada system CW dimungkinkan terjadi karena aliran air limbah yang masuk dan mengalir ke dalam lahan basah dengan debit aliran yang sangat kecil supaya dapat mencapai waktu tinggal yang lebih lama dibandingkan dengan system pengolahan limbah lainnya. Gerakan aliran yang lambat ini memberikan kesempatan berlangsungnya proses sedimentasi dalam system CW. (Norton, 2003). Proses fisik berupa filtrasi dan sedimentasi menyebabkan effluent yang keluar dari system CW jauh lebih jernih dibandingkan air limbah yang masuk (influent), seperti yang ditunjukkan pa gambar 7. di bawah ini.



Gambar 8. Perbandingan Influent dan Effluent Limbah Domestik Hasil Pengolahan CW

4. KESIMPULAN

Model *vertical constructed wetland* dapat dipertimbangkan menjadi alternatif sistem pengolahan limbah yang dapat diterapkan untuk daerah dengan lahan terbatas seperti di kampung kota. Sistem ini menunjukkan efisiensi penghilangan yang besar seperti penurunan total koliform yang dapat mencapai 99.67% dan penurunan kandungan pencemar organik yang ditunjukkan dengan menurunnya nilai BOD dengan mencapai efisiensi penurunan sebesar 71.64. Sistem CW menggunakan tanaman hias, mampu mensuplai oksigen ke dalam sistem yang dihasilkan dari proses fotosintesa didistribusikan ke akar, sehingga akan terbentuk zona rizosphere yang kaya akan mikroorganisme yang dapat memanfaatkan oksigen tersebut untuk melakukan aktivitas penguraian.

PUSTAKA

Bawole,H. & Prihatmo,G. 2011. *Lahan Basah Buatan, Sebuah Alternatif Penerapan Pengolahan Limbah Pasar Ikan Pantai Depok, Parangtritis, Bantul DIY*. Universitas Kristen Duta Wacana

Bawole,H.& Prihatmo,G.2012. . *Scaled Constructed Wetland, Alternatif Pengolahan Limbah Domestik Individual*. Universitas Kristen Duta Wacana

Bawole, H., 2015. *Studi Alternatif Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga dengan Sistem "Constructed Wetland" menggunakan Tanaman Hias*. Universitas Kristen Duta Wacana

Bawole, H., 2016. *Studi Penurunan Total Coliform dalam Limbah Domestik pada sistem Constructed Wetland – indoor* Universitas Kristen Duta Wacana

Geen, A., 2015. *Using Wetlands to remove Microbial Pollutants from Farm Discharged Water*. ANR Publication 8512, University of California

Khudori, Darwis. 2002. *Menuju Kampung Pemerdekaan*. Yayasan Pondok Rakyat, Yogyakarta.

Kurniadie H.D.(2011). *Teknologi Pengolahan Limbah Cair secara Biologis*. Widya Padjadjaran.

Suprihatin,H.2014. *Penurunan Konsentrasi BOD Limbah Domestik Menggunakan Sistem Wetland dengan Tanaman Hias Bintang Air (Cyperus alternifolius)*. Dinamika Lingkungan Indonesia, Volume 1, Nomor 2.

Srinivas, Hari.2015. *Defining Squatter Settlements*. The Global Development Research Center. 25 April 2015. (<http://www.gdrc.org/uem/define-squatter.html>)

Suriawira, 2003. *Mikrobiologi air dan Dasar-dasar Pengolahan Buangan secara Biologis*

Suprihatin,H.2014. *Penurunan Konsentrasi BOD Limbah Domestik Menggunakan Sistem Wetland dengan Tanaman Hias Bintang Air (Cyperus alternifolius*. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, Volume 1, Nomor 2. 20 Januari 2000).

ANALISIS DATA KETAHANAN HIDUP DENGAN MODEL REGRESI COX PROPORSIONAL HAZARDS

Etri Amiani¹ dan Ig. Aris Dwiatmoko²

^{1,2} Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma
Kampus III Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman, D.I. Yogyakarta 55281
Telp. (0274) 883037, 883968; Fax. (0274) 886529
E-mail: ¹etriamiani40@gmail.com, ²aris.dwiatmoko@gmail.com

ABSTRAK

Banyak peristiwa yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari berhubungan dengan waktu ketahanan hidup. Model regresi Cox proporsional hazards digunakan untuk menganalisis dan menentukan model regresi data ketahanan hidup, serta menguji hubungan antara waktu ketahanan hidup dengan satu atau lebih variabel penjelas. Penduga model regresi Cox proporsional hazards diaplikasikan pada data pasien kanker payudara di Rumah Sakit Panti Rapih Yogyakarta tahun 2014-2016 baik yang mengikuti kemoterapi maupun tidak. Dari hasil komputasi diperoleh model regresi Cox proporsional hazards yang terbaik untuk pasien kanker payudara tahun 2014-2016 adalah $h(t, x) = h_0(t)e^{-1.5881x}$. Nilai penduga koefisien regresi Cox -1.5881 menunjukkan risiko gagal bertahan hidup pasien kanker payudara yang mengikuti kemoterapi lebih kecil dari pada pasien kanker payudara yang tidak mengikuti kemoterapi. Selanjutnya, pasien kanker payudara yang mengikuti kemoterapi berpeluang bertahan hidup kurang lebih 5 kalinya pasien kanker payudara yang tidak mengikuti kemoterapi.

Kata Kunci: Ketahanan hidup, regresi Cox proporsional Hazard.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Analisis data ketahanan hidup adalah suatu penyelidikan terhadap daya tahan hidup individu. Dalam bidang kesehatan, data diperoleh dari suatu pengamatan terhadap ketahanan hidup pasien yang mengalami penyakit tertentu. Ketahanan hidup yang dimaksud adalah proses terjadinya suatu kejadian khusus, berupa kesembuhan, kambuhnya penyakit yang diderita, bahkan kematian. Model regresi Cox proporsional hazards (Cox, 1972) pada dasarnya adalah model regresi yang sering digunakan dalam penelitian medis untuk menyelidiki hubungan antara waktu ketahanan hidup pasien dengan satu atau lebih variabel penjelas. Persamaan model regresi Cox proporsional hazards yaitu,

$$h(t, \mathbf{X}) = h_0(t)e^{\beta\mathbf{X}}, \quad t > 0. \quad (1)$$

Rasio hazard adalah rasio tingkat bahaya sesuai dengan kondisi yang dijelaskan oleh satu atau lebih variabel penjelas. Nilai dugaan parameter β menyatakan hubungan variabel penjelas dengan besarnya rasio hazard. Untuk mendapatkan nilai dugaan parameter β digunakan Metode Kemungkinan Maksimum (*Maximum Likelihood*) dengan menyelesaikan persamaan

$$\frac{\partial L(\beta)}{\partial \beta} = 0. \quad (2)$$

Permasalahan dibatasi pada pembentukan model regresi Cox proporsional hazards dengan variabel-variabel yang mempengaruhi ketahanan hidup pasien kanker payudara serta data yang tersensor acak.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalahnya adalah sebagai berikut:

“Bagaimana persamaan model regresi Cox proporsional hazards untuk suatu data ketahanan hidup pasien kanker payudara di Rumah Sakit Panti Rapih Yogyakarta tahun 2014-2016?”.

1.3 Metodologi Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian korelasional dengan pendekatan kuantitatif. Berdasarkan tujuannya, penelitian ini merupakan penelitian pengembangan, yaitu mendalami lebih jauh hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Girik Allo, Caecilia B. (2017). Oleh karena itu, data yang digunakan berupa data tersensor acak bersumber dari penulis yang sama, yaitu data ketahanan hidup pasien kanker payudara di Rumah Sakit Panti Rapih Yogyakarta tahun 2014-2016. Subjek penelitian ini adalah pasien kanker payudara yang tercatat dalam rekam medis di

Rumah Sakit Panti Rapih Yogyakarta tahun 2014-2016, yang terdiri atas 483 pasien kanker payudara. Semua pasien kanker payudara berjenis kelamin wanita. Dari 483 pasien kanker payudara, diantaranya 168 pasien mengikuti kemoterapi dan 315 pasien tidak mengikuti kemoterapi.

Variabel-variabel yang terdapat pada data pasien kanker payudara diidentifikasi berdasarkan variabel respon dan variabel penjelas, yaitu:

- Variabel respon (variabel tak bebas) berupa variabel waktu bertahan hidup (t) pasien kanker payudara dengan satuan hari dan variabel sensor dengan dua nilai: 0= tersensor, 1= tidak tersensor (meninggal).
- Variabel penjelas yang digunakan dalam penelitian ini berupa data faktor-faktor yang diduga mempengaruhi ketahanan hidup pasien kanker payudara, yaitu:
 - a. Status kemoterapi (x_1), dengan dua nilai: 0= non kemoterapi, 1= kemoterapi.
 - b. Umur (x_2).

Analisis data dilakukandengan model model regresi Cox proporsional *hazards* dankomputasiyamenggunakan perangkat lunak R.

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan dari penulisan makalah ini adalah sebagai berikut:

“Mendapatkan persamaan model regresi Cox proporsional *hazards* untuk suatu data ketahanan hidup pasien kanker payudara di Rumah Sakit Panti Rapih Yogyakarta tahun 2014-2016”.

1.4 Tinjauan Pustaka

1.4.1 Data Tersensor

Di dalam data ketahanan hidup, dikenal istilah penyensoran. Biasanya suatu penelitian ketahanan hidup mempunyai waktu awal dimulainya penelitian dan waktu akhir penelitian, sehingga peneliti hanya dapat meneliti semua kejadian dan mencatat waktu kejadian selama periode waktu penelitian yang ditentukan. Ketika informasi data tentang waktu ketahanan hidup yang sesungguhnya dari individu tidak diketahui maka data tersebut dikatakan tersensor. Penyensoran terjadi ketika terdapat individu yang tetap bertahan hidup di akhir penelitian, individu yang hilang dari penelitian, atau individu diteliti tetapi tidak dari waktu awal penelitian. Penyensoran acak sering terjadi pada percobaan-percobaan kesehatan. Individu masuk dalam sebuah percobaan pada waktu yang berbeda. Kemudian masing-masing individu diperlakukan dengan percobaan yang sudah ditentukan. Setiap individu yang ada dalam penelitian akan diteliti waktu kegagalan tetapi penyensoran dapat terjadi selama penelitian. Kejadian-kejadian yang menyebabkan terjadinya penyensoran adalah:

- i. Hilang dari pemeriksaan (*Loss to Follow Up*)
Individu meninggalkan penelitian tanpa diketahui penyebabnya. Waktu ketahanan hidup individu yang sebenarnya tidak diketahui, yang diketahui hanya individu bertahan hidup dari awal individu masuk dalam penelitian sampai individu meninggalkan penelitian.
- ii. Keluar
Efek buruk yang terjadi dari sebuah percobaan adalah memaksa pemberhentian percobaan atau individu menolak untuk melanjutkan percobaan dengan alasan apapun.
- iii. Penghentian Pengamatan
Penghentian pengamatan terjadi karena individu tetap bertahan atau hidup pada akhir penelitian.

1.4.2 Fungsi Ketahanan Hidup

Definisi 1

Fungsi ketahanan hidup atau *survival function* yang dilambangkan dengan $S(t)$ adalah probabilitas variabel acak T , yang merupakan waktu ketahanan hidup, melebihi suatu waktu t . Secara matematis, fungsi ketahanan hidup dapat ditulis

$$S(t) = P(T > t) \quad t \geq 0. \quad (3)$$

Semua fungsi ketahanan hidup memenuhi tiga karakteristik, yaitu:

- fungsi ketahanan hidup adalah fungsi tak naik, ini berarti bahwa fungsinya konstan atau turun untuk t yang semakin besar
- saat waktu $t=0, S(t)=S(0)=1$, ini berarti bahwa awal pengamatan karena belum ada individu yang mengalami kegagalan, maka probabilitas ketahanan hidupnya adalah 1
- saat waktu $t \rightarrow \infty, \lim_{t \rightarrow \infty} S(t) = 0$, ini berarti bahwa jika waktu pengamatan bertambah menuju tak terbatas alhasil tidak ada individu yang dapat bertahan hidup, jadi kurva ketahanan hidup akhirnya harus menuju nol.

Pada kenyataannya, ketika digunakan data yang aktual akan diperoleh fungsi ketahanan hidup $S(t)$ berupa fungsi tangga. (Kleinbaum dan Klein, 2005).

1.4.3 Fungsi Hazard

Definisi 2

Fungsi *hazard* atau *hazard rate* yang dilambangkan dengan $h(t)$ didefinisikan sebagai limit dari probabilitas bersyarat bahwa waktu ketahanan hidup individu, T , terletak pada interval waktu $(t, t + \nabla t)$ jika diketahui waktu ketahanan hidup T lebih dari atau sama dengan t . Secara matematis fungsi *hazard* dapat ditulis

$$h(t) = \lim_{\nabla t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \nabla t \mid T \geq t)}{\nabla t}. \quad (4)$$

Menurut Kleinbaum dan Klein (2005) fungsi *hazard* $h(t)$ memenuhi dua karakteristik, yaitu:

- fungsinya tak negatif.
- fungsinya tidak memiliki batas atas.

1.4.4 Model Regresi Cox Proporsional Hazards

Model regresi Cox proporsional *hazards* digunakan bila respon yang diobservasi adalah data ketahanan hidup (Kleinbaum dan Klein, 2005).

Definisi 3 Proporsional Hazards

Jika $h_1(t)$ dan $h_0(t)$ adalah fungsi *hazard* dengan dua distribusi yang berbeda, kedua fungsi tersebut dikatakan proporsional jika

$$h_1(t) = \psi h_0(t), \quad \forall t \geq 0, \quad (5)$$

untuk suatu konstanta positif ψ dan semua $t \geq 0$. (Brostrom, 2012:31).

Karena $\psi > 0$, maka e^β adalah suatu konstanta positif yang memenuhi. Dengan demikian persamaan (5) dapat ditulis ulang sebagai

$$h_1(t) = e^\beta h_0(t), \quad \forall t \geq 0, \quad -\infty < \beta < \infty. \quad (6)$$

Definisi 4 Model regresi Cox proporsional hazards

Model regresi Cox proporsional *hazards* didefinisikan sebagai

$$h(t, \mathbf{X}) = h_0(t) e^{\beta \mathbf{X}}, \quad t > 0. \quad (7)$$

dengan \mathbf{X} adalah vektor dari variabel penjelas yang dapat berupa variabel kontinu atau diskrit.

Secara umum, $h_0(t)$ disebut fungsi *baseline hazard* yang menggambarkan *hazard* untuk semua objek dengan nilai variabel $X_1 = X_2 = \dots = X_p = 0$.

1.4.5 Penduga Kemungkinan Maksimum Model Regresi Cox Proporsional Hazards

- Pendugaan parameter β

Parameter β dalam model regresi Cox proporsional *hazards* dapat diduga dengan Metode Kemungkinan Maksimum. Fungsi kemungkinan parsial untuk model regresi Cox adalah

$$L(\beta) = \prod_{j=1}^r \left[\frac{\exp(\beta X_{(j)})}{\sum_{l \in R(t_j)} \exp(\beta X_{(j)})} \right]^{\delta_i}, \quad (8)$$

dengan $\delta_i = \begin{cases} 0, & \text{bila individu tersensor} \\ 1, & \text{bila individu tidak tersensor} \end{cases}$.

Vektor variabel $\mathbf{X}_{(j)}$ adalah vektor variabel dari individu yang gagal pada waktu ke- j . Notasi $R(t_j)$ menyatakan seluruh individu yang memiliki risiko gagal pada waktu ke- j .

Penduga dari β_i dinyatakan dengan $\hat{\beta}_i$ didapatkan dengan menyelesaikan

$$\frac{\partial L(\beta)}{\partial \beta} = 0, \quad i = 1, \dots, p. \quad (9)$$

Variansi dari $\hat{\beta}$ telah dibuktikan oleh Klein dan Moeschberger (2003) yaitu

$$\text{Var}(\hat{\beta}) = \left[-\frac{\partial^2}{\partial \beta^2} L(\beta) \right]^{-1}, \quad (10)$$

sehingga galat baku penduganya adalah

$$SE(\hat{\beta}) = \sqrt{\text{Var}(\hat{\beta})}. \quad (11)$$

- Pengujian parameter

Setelah didapatkan parameter $\hat{\beta}$ dengan memaksimumkan fungsi $L(\beta)$ maka parameter β harus diuji untuk menentukan apakah parameter tersebut signifikan atau tidak. Pengujian parameter dibagi menjadi dua, yaitu

- a. Pengujian secara serentak

1. Hipotesis : $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = 0$.
 $H_1 : \text{minimal ada satu dari } \beta_j \neq 0, \text{ dengan } j = 1, 2, \dots, p.$
2. Taraf signifikansi : $\alpha = 0.05$.
3. Statistik uji : $\chi^2_{LR} = -2[\log(L(M_1)) - \log(L(M_2))]$
dengan $L(M_i)$ adalah fungsi kemungkinan parsial yang telah dimaksimumkan untuk masing-masing model.
4. Kriteria uji : Tolak H_0 jika $\chi^2_{LR} > \chi^2_{p;0.05}$ atau $\text{sig} < 0.05$,
dengan p adalah banyaknya koefisien (β).

- b. Pengujian secara parsial

1. Hipotesis : $H_0 : \beta_j = 0$.
 $H_1 : \beta_j \neq 0, \text{ untuk suatu } j \text{ dengan } j = 1, 2, \dots, p.$
2. Taraf signifikansi : $\alpha = 0.05$.
3. Statistik uji : $Z = \frac{\hat{\beta} - \beta}{SE(\hat{\beta})}$.
4. Kriteria uji : Tolak H_0 jika $Z > Z_{0.025}$ atau $\text{sig} < 0.05$.

- Menghitung rasio *hazard*

Secara umum, rasio *hazard* didefinisikan sebagai perbandingan antara *hazard* satu individu dengan *hazard* individu lain. Dua individu yang dibandingkan dapat dibedakan berdasarkan nilai-nilai X mereka masing-masing.

$$HR = \frac{\hat{h}(t, \mathbf{X}^*)}{\hat{h}(t, \mathbf{X})} = \exp \left[\sum_{i=1}^p \hat{\beta}_i (X_i^* - X_i) \right]. \quad (12)$$

Nilai dugaan parameter β yaitu $\hat{\beta}$ menyatakan hubungan variabel penjelas dengan besarnya rasio *hazard*. Jika nilai $\hat{\beta}_j > 0$ maka naiknya nilai X_j akan memperbesar nilai rasio *hazard*nya atau semakin besar risiko seseorang untuk gagal bertahan hidup. Jika nilai $\hat{\beta}_j < 0$ maka naiknya nilai X_j akan memperkecil nilai rasio

hazardnya atau semakin kecil risiko seseorang untuk gagal bertahan hidup. Jika nilai $\hat{\beta}_j = 0$ maka naiknya nilai X_j tidak berpengaruh terhadap nilai rasionalnya.

2. PEMBAHASAN

2.1 Model Regresi Cox Proporsional *Hazards* untuk Data Ketahanan Hidup

Dalam pemodelan dengan regresi Cox akan ditempuh dengan tiga langkah berikut:

1. Pendugaan model dengan dua variabel umur dan status kemo.
2. Pendugaan model dengan dua variabel umur dan status kemo serta interaksi keduanya.
3. Pendugaan model dengan membuang variabel yang tidak signifikan secara statistik.

2.1.1 Model 1 $h(t, \mathbf{X}) = h_0(t)e^{\beta_1 x_1 + \beta_2 x_2}$

Pendugaan model dengan perangkat lunak R menghasilkan output sebagai berikut:

```
Call:
coxph(formula = Surv(Time, Sensor) ~ Status.Kemo + Umur, data = semua.pasien,
      method = "breslow")

n= 483, number of events= 75

              coef exp(coef) se(coef)      z Pr(>|z|)
Status.Kemo -1.583267  0.205303  0.273186 -5.796 6.81e-09 ***
Umur          0.001551  1.001552  0.010692  0.145  0.885
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

              exp(coef) exp(-coef) lower .95 upper .95
Status.Kemo    0.2053      4.8708    0.1202    0.3507
Umur           1.0016      0.9985    0.9808    1.0228

> coxph$loglik[2]
[1] -359.8888
```

Gambar 1. Hasil program R untuk model 1

Dari hasil tersebut, model regresi Cox proporsional *hazards* untuk pasien kanker payudara tahun 2014-2016 adalah

$$h(t, \mathbf{X}) = h_0(t)e^{-1.583x_1 + 0.0015x_2} \quad (13)$$

Selanjutnya, dilakukan pengujian serentak dan parsial terhadap model regresi Cox proporsional *hazards* di atas. Pengujian serentak:

1. Hipotesis : $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$.
2. Taraf signifikansi : $\alpha = 0.05$.
3. Statistik uji : $\chi^2_{LR} = -2[\log(L(M_1))] = -2[-359.8] = 719.6$.
4. Kriteria uji : Tolak H_0 jika $\chi^2_{LR} > \chi^2_{2;0.05} = 5.99$ atau $sig < 0.05$.
 Karena $\chi^2_{LR} = 719.6 > \chi^2_{2;0.05} = 5.99$ maka H_0 ditolak.

Kesimpulan : model secara keseluruhan adalah signifikan.

Pengujian parsial:

1. Hipotesis : $H_0 : \beta_j = 0$ untuk $j = 1, 2$.
 $H_1 : \beta_j \neq 0$, untuk $j = 1, 2$.
2. Taraf signifikansi : $\alpha = 0.05$.
3. Statistik uji : $Z = \frac{\hat{\beta} - \beta}{SE(\hat{\beta})}$.

4. Kriteria uji : Tolak H_0 jika $Z > Z_{0.025} = 1.96$ atau $sig < 0.05$.

Dari hasil program R berikut ringkasannya.

Tabel 1. Hasil uji parsial

Variabel ke- j	$\hat{\beta}_j$	$SE(\hat{\beta}_j)$	Z	Sig	Keputusan
status kemo	-1.58327	0.273186	-5.796	6.81e-09	Tolak H_0
Umur	0.001551	0.010692	0.145	0.885	Terima H_0

Dari tabel 1 diketahui bahwa variabel status kemo signifikan dalam model regresi Cox proporsional *hazards*. Dengan demikian dapat diartikan bahwa variabel yang mempengaruhi hidup pasien adalah status kemo, sedangkan variabel umur tidak berpengaruh.

2.1.2 Model 2 $h(t, \mathbf{X}) = h_0(t)e^{\beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_1 x_2}$

Model 2 adalah model 1 ditambah interaksi antara variabel status kemo dan umur, yaitu $x_3 = x_1 \times x_2$.

Pendugaan moel dengan perangkat lunak R menghasilkan output sebagai berikut:

Call:

```
coxph(formula = Surv(Time, Sensor) ~ Status.Kemo * Umur, data = data,
      method = "breslow")
```

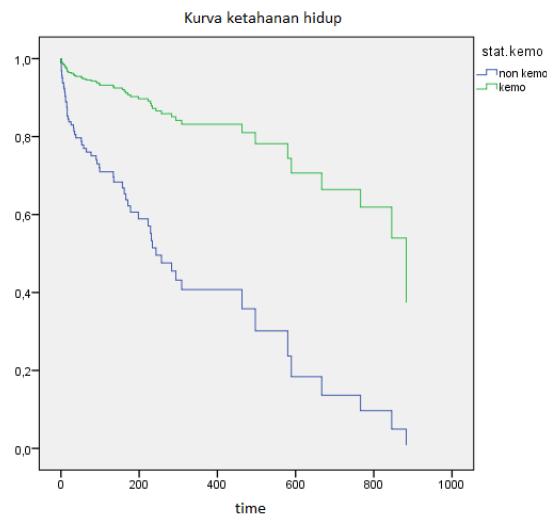
```
n= 483, number of events= 75
```

	coef	exp(coef)	se(coef)	z	Pr(>|z|)
Status.Kemo	-1.5879681	0.2043404	1.2865546	-1.234	0.217
Umur	0.0015274	1.0015286	0.0123522	0.124	0.902
Status.Kemo:Umur	0.0000922	1.0000922	0.0246581	0.004	0.997

	exp(coef)	exp(-coef)	lower .95	upper .95
Status.Kemo	0.2043	4.8938	0.01641	2.544
Umur	1.0015	0.9985	0.97757	1.026
Status.Kemo:Umur	1.0001	0.9999	0.95291	1.050

Gambar 2. Hasil program R untuk model 2

Dari hasil perhitungan di atas, terlihat bahwa baik umur, status kemo, maupun interaksinya tidak signifikan yang ditunjukkan dengan tiga nilai Z yang semuanya kurang dari nilai $Z_{0.025} = 1.96$. Tidak adanya interaksi antara variabel status kemo dan umur dapat dilihat dari kurva ketahanan hidupnya yang tidak saling berpotongan berikut:



Gambar 3. Kurva ketahanan hidup model 2

2.1.3 Model 3 $h(t, \mathbf{X}) = h_0(t)e^{\beta_1 x}$

Karena dari model 1, variabel umur tidak signifikan, dari model 2 tidak satupun variabel signifikan, maka selanjutnya akan ditentukan model regresi Cox proporsional *hazards* dengan satu variabel penjelas yaitu status kemoterapi (Model 3).

Pendugaan model dengan perangkat lunak R menghasilkan output sebagai berikut:

```
Call:
coxph(formula = Surv(Time, Sensor) ~ Status.Kemo, data = data,
      method = "breslow")

n= 483, number of events= 75

              coef exp(coef) se(coef)      z Pr(>|z|)
Status.Kemo -1.5881    0.2043   0.2712 -5.856 4.75e-09 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

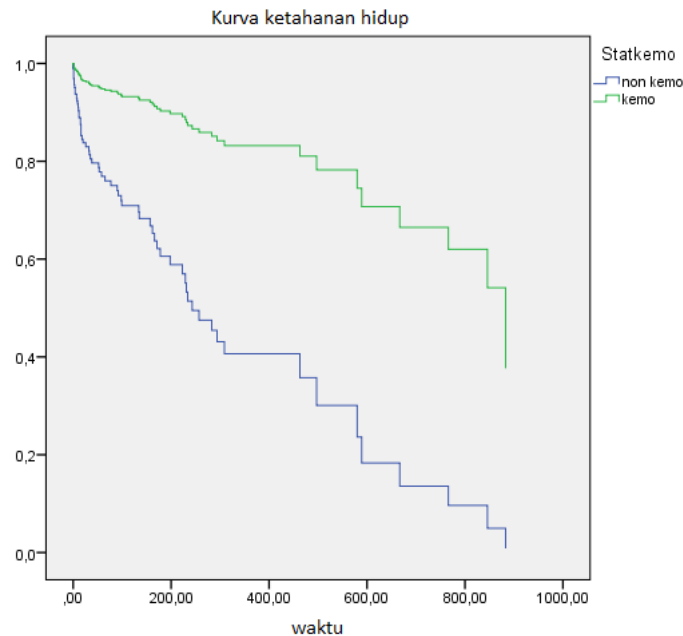
              exp(coef) exp(-coef) lower .95 upper .95
Status.Kemo    0.2043      4.894    0.1201    0.3477
```

Gambar 4. Hasil program R untuk model 3

Model regresi Cox proporsional *hazards* dengan satu variabel penjelas yaitu status kemo adalah

$$h(t, \mathbf{X}) = h_0(t)e^{-1.5881x}. \quad (14)$$

Nilai $\Pr(>|z|) = 4.75e-09 < \alpha = 0.05$ menunjukkan bahwa H_0 ditolak. Ini berarti variabel status kemo memiliki pengaruh yang signifikan pada data ketahanan hidup pasien kanker payudara tahun 2014-2016. Dapat dilihat juga dari kurva ketahanan hidupnya, yaitu



Gambar 5. Kurva ketahanan hidup model 3

Dari gambar di atas terlihat bahwa kurva ketahanan hidup pasien yang mengikuti kemoterapi selalu di atas kurva ketahanan hidup pasien yang tidak mengikuti kemoterapi. Dengan demikian, model regresi Cox proporsional *hazards* untuk pasien kanker payudara tahun 2014-2016 adalah

$$h(t, \mathbf{X}) = h_0(t)e^{-1.5881x}.$$

Model dengan satu variabel penjelas (model 3) adalah model terbaik dibandingkan model yang lain jika dilihat dari nilai standar *error* koefisien $\beta_1, se(\beta_1)$, serta nilai signifikansinya.

Nilai dari $\hat{\beta} = -1.5881$, artinya jika nilai x (status kemo) berubah dari 0 ke 1 maka risiko pasien kanker payudara gagal bertahan hidup semakin kecil. Dengan kata lain, risiko untuk gagal bertahan hidup pasien kanker payudara yang mengikuti kemoterapi lebih kecil dari pada pasien yang tidak mengikuti kemoterapi. Selanjutnya, nilai rasio *hazard* adalah 0.2043 atau jika dilihat pada output perangkat lunak R nilainya adalah nilai dari $\exp(coef)$ berada pada selang [0.1201, 0.3477]. Artinya pasien kanker payudara yang mengikuti kemoterapi memiliki peluang gagal bertahan hidup 0.2043 kalinya pasien kanker payudara yang tidak mengikuti kemoterapi, atau dengan kata lain pasien kanker payudara yang mengikuti kemoterapi berpeluang bertahan hidup kurang lebih 5 kali dari pasien kanker payudara yang tidak mengikuti kemoterapi.

3. KESIMPULAN

Model regresi Cox proporsional *hazards* yang terbaik untuk pasien kanker payudara tahun 2014-2016 yaitu

$$h(t, \mathbf{X}) = h_0(t)e^{-1.5881x}.$$

Nilai dari $\hat{\beta} = -1.5881$, artinya risiko untuk gagal bertahan hidup pasien kanker payudara yang mengikuti kemoterapi lebih kecil dari pada pasien yang tidak mengikuti kemoterapi. Selanjutnya, nilai rasio *hazard* 0.2043 menunjukkan bahwa pasien kanker payudara yang mengikuti kemoterapi berpeluang bertahan hidup kurang lebih 5 kali dari pasien kanker payudara yang tidak mengikuti kemoterapi.

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada ketersediaan data di sumber data. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah agar rumah-rumah sakit dapat melakukan pendataan dengan variabel sebanyak mungkin agar memungkinkan pembuatan model yang lebih komprehensif dengan melibatkan faktor-faktor lain yang mungkin.

PUSTAKA

- Brostrom, Goran. 2012. *Event History Analysis with R*. Boca Raton: CRC Press.
- Collett, David. 2003. *Modelling Survival Data in Medical Research*. 2nd Edition. London: Chapman & Hall.
- Cox, D. R. 1972. Regression Models and Life-Tables. *Journal of the Royal Society. Series B (Methodological)*, 34 (2) : 187-220.
- Girik Allo, Caecilia B. 2017. *Aplikasi Metode Kaplan Meier Untuk Menduga Selang Waktu Ketahanan Hidup (Studi Kasus: Pasien Kanker Payudara di Rumah Sakit Panti Rapih)*. Skripsi.
- Hanni, Tuan & Triastuti Wuryandari. 2013. Model Regresi Cox Proporsional *Hazard* Pada Data Ketahanan Hidup. *Media Statistika*, 6(1):11-20.
- Klein, John P. & Melvin L. Moeschberger. 2003. *Survival Analysis: Techniques for Censored and Truncated Data*. 2nd Edition. New York: Springer.
- Kleinbaum, David G. & Mitchel Klein. 2005. *Survival Analysis: A Self Learning Text*. 2nd Edition. New York: Springer.
- Lee, Elisa T. & John Wenyu Wang. 2003. *Statistical Methods for Survival Data Analysis*. 3rd Edition Hoboken: John Wiley & Sons.
- Therneau, Terry M. & Patricia M. Grambsch. 2000. *Modeling Survival Data: Extending the Cox Model*. New York: Springer.
- Walpole, Roland E., et al. 2012. *Probability & Statistics for Engineers & Scientists*. 9th Edition. New York: Prentice Hall.

PENYELESAIAN MASALAH PENGEPAKAN BARANG DENGAN ALGORITMA GENETIKA

Christina Eka Septyaningsih¹, Hartono²

^{1,2} Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma
Kampus III Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman, D.I Yogyakarta 55281
Telp. (0274) 883037, 883968; Fax. (0274) 886529
E-mail: ¹christina.eka.septy@gmail.com, ²yghartono@usd.ac.id

ABSTRAK

Pengepakan barang merupakan salah satu aktifitas yang sering dilakukan di industri distribusi. Barang-barang harus dikemas ke dalam bin sesuai dengan kapasitas maksimumnya. Oleh karena itu harus dicari pola pengepakan terbaik supaya total berat barang di setiap bin tidak melebihi kapasitasnya. Tujuan dari menentukan pola pengepakan barang ini adalah untuk meminimalkan jumlah bin yang digunakan. Pada makalah ini, akan dibahas bagaimana Algoritma Genetika dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah pengepakan barang sehingga diperoleh beberapa solusi yang lebih baik dari metode First-Fit. Kemudian dibuat tampilan program komputer yang berbentuk antar muka pengguna grafis yang menghasilkan, solusi yang berupa jumlah bin yang digunakan dan beberapa pola pengepakan barang ke dalam bin. Berdasarkan penelitian ini, Algoritma Genetika memberikan hasil yang mendekati jumlah optimal bin yang digunakan. Dengan Algoritma Genetika, diperoleh beberapa pola pengepakan barang yang optimal.

Kata Kunci: optimasi, masalah pengepakan barang, Algoritma Genetika

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini perekonomian Indonesia semakin meningkat yang diikuti pula dengan perkembangan dunia industri distribusi. Pihak distributor diharapkan dapat meningkatkan kualitas dan keamanan dalam pengiriman barang. Demi menghemat biaya pengiriman, mereka harus mengoptimalkan jumlah mobil pengangkut yang digunakan sehingga barang dapat terangkut secara maksimal.

Barang-barang yang akan diangkut tersebut, dikemas dalam bentuk *rectangular box* (kotak berbentuk balok atau kubus) dan kemudian didistribusikan dengan mobil *box*. Dalam penyusunan barang ke dalam mobil, distributor harus memperhatikan beberapa hal, salah satunya adalah kapasitas maksimal yang dapat diangkut oleh mobil tersebut. Hal itu penting untuk menemukan pola pengepakan terbaik sehingga ukuran total dari benda-benda yang diangkut dalam setiap mobil *box* tidak melebihi kapasitas maksimal mobil dan jumlah mobil yang digunakan dapat diminimumkan.

Secara umum, masalah pengepakan barang ini bukan merupakan hal yang mudah. Berbagai pendekatan algoritma dapat dicoba untuk mendapatkan solusi yang optimal. Salah satu metode yang cukup handal untuk menyelesaikan masalah ini adalah Algoritma Genetika. Dalam makalah ini, Algoritma Genetika akan digunakan untuk memformulasikan dan menyelesaikan masalah pengepakan barang ini.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini, yaitu:

- Memodelkan masalah pengepakan barang.
- Menyelesaikan masalah pengepakan barang dengan Algoritma Genetika.
- Membandingkan penyelesaian masalah pengepakan barang menggunakan Algoritma Genetika dan metode *First-Fit*.

1.3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan membuat simulasi komputer dari masalah pengepakan barang. Program komputer ditulis dengan bahasa MATLAB dan data yang digunakan merupakan data sekunder yang diambil dari artikel yang ditulis oleh Mohamadi, N. (2010). Tampilan antar muka pengguna grafis dari program MATLAB akan memuat jumlah mobil yang digunakan untuk mengangkut semua barang dari data. Selain itu, parameter-parameter yang dapat diubah adalah ukuran populasi, probabilitas pindah silang dan probabilitas mutasi.

1.4. Landasan Teori

Masalah Pengepakan Barang

Masalah pengepakan barang (*bin packing problem*) merupakan masalah klasik dalam optimasi kombinatorial. Menurut Martello dan Toth (1990), *bin packing problem* dapat dideskripsikan dengan istilah-istilah yang terdapat pada masalah *Knapsack*, yaitu diberikan sejumlah n barang dan n *Knapsack (bin)* dengan w_j adalah berat dari barang ke- j dan c adalah kapasitas maksimal dari setiap *bin*.

Secara matematis, masalah pengepakan barang dapat dinyatakan sebagai

$$\text{Meminimumkan} \quad z = \sum_{i=1}^n y_i \quad (1)$$

$$\text{kendala} \quad \sum_{j=1}^n w_j x_{ij} \leq c y_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$x_{ij} = \{0, 1\} \quad (4)$$

$$y_i = \{0, 1\} \quad (5)$$

dengan

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{jika bin ke- } i \text{ digunakan} \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{jika barang ke- } j \text{ dapat masuk ke bin ke- } i \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases}$$

Pada masalah pengepakan barang sederhana satu dimensi, diberikan barisan berat barang $L = (w_1, w_2, \dots, w_j)$, masing-masing barang memiliki berat $w_j \in (0, c]$ yang akan disusun ke dalam *bin* y_1, y_2, \dots, y_n sehingga

$$\sum_{w_j \in y_i} w_j \leq c \quad (6)$$

untuk $i = 1, 2, \dots, n$.

Masalah pengepakan barang termasuk dalam masalah optimasi yang cukup rumit sehingga hanya ada beberapa Algoritma Heuristik yang direkomendasikan untuk masalah ini. Beberapa Metode Heuristik mengadopsi beberapa aturan sederhana yang umum digunakan seperti *Next-Fit*, *First-Fit* dan *Best-Fit*. Metode *First-Fit* merupakan metode yang paling sering digunakan dalam menyelesaikan masalah pengepakan barang. Langkah-langkah yang dilakukan pada metode ini adalah sebagai berikut:

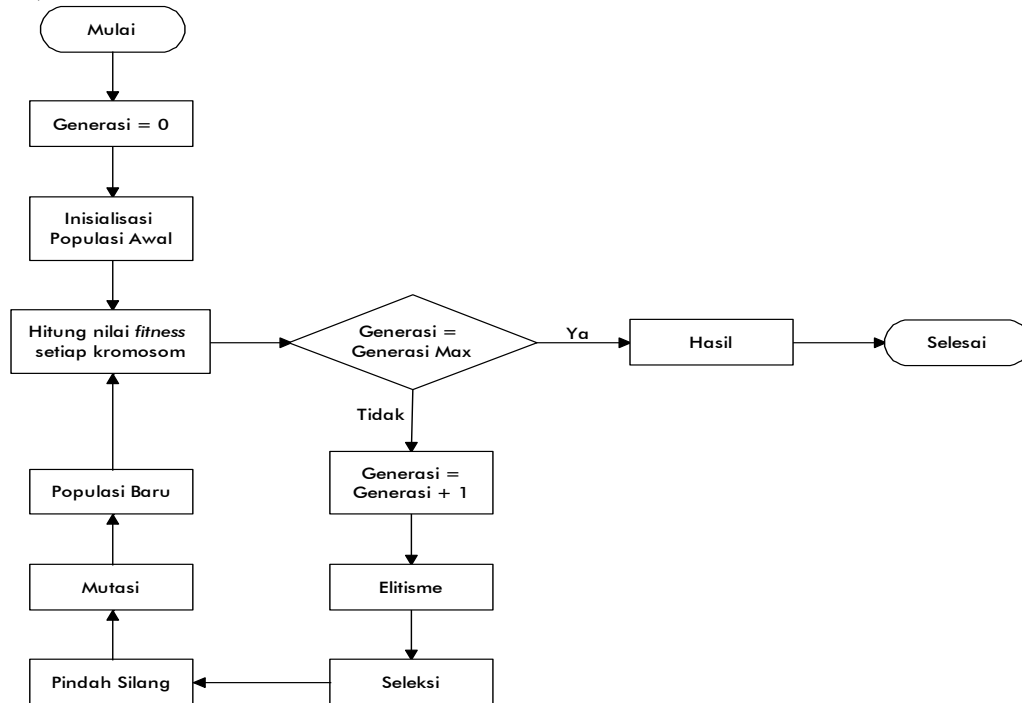
- Barang pertama dimasukkan ke dalam *bin* 1, dilanjutkan barang ke-2, ..., n sesuai dengan urutannya.
- Barang dimasukkan ke dalam *bin* yang sudah ada (jika muat). Jika tidak cukup, maka barang dimasukkan ke dalam *bin* yang baru.

1.5. Algoritma Genetika

Algoritma Genetika pertama kali diperkenalkan oleh John Holland dari Universitas Michigan pada tahun 1960-an. Algoritma Genetika merupakan metode optimasi yang meniru proses evolusi pada makhluk hidup. Teori Darwin menyatakan "*survival of the fittest*" yang artinya bahwa evolusi makhluk hidup dan ekosistemnya terjadi karena adanya seleksi alam. Dengan adanya seleksi ini maka individu-individu baru akan terbentuk. Individu yang lebih kuat (fit) akan memiliki tingkat bertahan hidup (*survival*) dan tingkat reproduksi yang lebih tinggi dari individu yang kurang fit.

Dalam Algoritma Genetika, hal pertama yang harus dilakukan adalah menginisialisasi populasi (himpunan solusi) awal dengan N kromosom yang dibangkitkan secara acak. Setiap kromosom (individu pada populasi) menyatakan suatu solusi dari masalah yang akan diselesaikan. Kromosom-kromosom tersebut dapat berubah melalui proses regenerasi. Pada setiap generasi, kromosom dievaluasi melalui fungsi *fitness*. Dalam pembentukan generasi berikutnya, dibuat terlebih dahulu satu atau dua kopi dari kromosom dengan nilai *fitness* tertinggi untuk mencegah hilangnya kromosom tersebut akibat proses rekombinasi. Selanjutnya dipilih dua kromosom acak dari generasi

sekarang untuk dijadikan induk. Kromosom dengan nilai *fitness* tinggi memiliki kemungkinan yang lebih tinggi untuk dipilih sebagai induk. Kromosom baru atau keturunan (*offspring*) terbentuk dari menggabungkan dua induk dengan melakukan proses pindah silang atau mengubah kromosom tersebut melalui proses mutasi. Setelah beberapa generasi, algoritma ini akan menghasilkan kromosom yang mendekati hasil optimal (bergantung pada inisialisasi populasi awal).



Gambar 1. Diagram Alir Proses Algoritma Genetika

Langkah-langkah Algoritma Genetika juga dapat dinyatakan dalam *pseudocode* pada Gambar 2. di bawah ini.

```

1  Inisialisasi populasi, N kromosom
2  Loop generasi
3      Loop untuk N kromosom
4          Evaluasi kromosom
5      End
6      Buat satu atau dua kopi kromosom terbaik (elitisme)
7      Loop sampai didapatkan N kromosom baru
8          Pilih dua kromosom sebagai orang tua
9              Pindah silang
10             Mutasi
11      End
12  End
  
```

Gambar 2. Pseudocode Algoritma Genetika

Sumber: Suyanto (2005, hal. 6)

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mempermudah proses penyelesaian masalah pengepakan barang dengan Algoritma Genetika, maka dibuat suatu program tampilan MATLAB. Program yang dibuat akan menampilkan hasil berupa pola pengepakan barang yang optimal dan jumlah mobil yang digunakan dalam solusi pengepakan tersebut. Pada bagian ini, akan diterapkan Algoritma Genetika pada masalah pengepakan barang dengan 9 objek dan kapasitas maksimal setiap mobil adalah 14 satuan berat. Adapun data barang yang akan diangkut dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data Barang yang Akan Diproses

Barang	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Berat	5	7	3	5	12	11	10	11	9

Diasumsikan bahwa jumlah mobil yang tersedia sama dengan jumlah barang yang ada. Model matematika yang terbentuk adalah

Meminimumkan $z = y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_9$

kendala $5x_{11} + 7x_{12} + 3x_{13} + 5x_{14} + 12x_{15} + 11x_{16} + 10x_{17} + 11x_{18} + 9x_{19} \leq 14y_1$

$5x_{21} + 7x_{22} + 3x_{23} + 5x_{24} + 12x_{25} + 11x_{26} + 10x_{27} + 11x_{28} + 9x_{29} \leq 14y_2$

\vdots

$5x_{91} + 7x_{92} + 3x_{93} + 5x_{94} + 12x_{95} + 11x_{96} + 10x_{97} + 11x_{98} + 9x_{99} \leq 14y_9$

$x_{ij} = \{0,1\}$

$y_i = \{0,1\}$

Representasi Genetika

Hal pertama yang harus dilakukan dalam menggunakan metode Algoritma Genetika adalah menentukan representasi kromosom yang akan digunakan. Pada penelitian ini, representasi yang digunakan adalah berdasarkan *bin* (*bin-based representation*). Posisi suatu gen digunakan untuk merepresentasikan objek dan nilai gen tersebut digunakan untuk merepresentasikan *bin* yang diisi oleh objek tersebut. Sebagai contoh, terdapat kromosom 3 1 4 2 1 5 yang mengindikasikan bahwa objek 1 ditempatkan di *bin* 3, objek 2 ditempatkan di *bin* 1, objek 3 ditempatkan di *bin* 4, dan seterusnya.

	1	2	3	4	5	6	← objek
Kromosom	3	1	4	2	1	5	← bin

Gambar 3. Representasi Bin-Based dari Suatu Kromosom

Panjang setiap kromosom yang sama dapat memudahkan dalam proses dengan operator genetika. Namun representasi ini memungkinkan terjadinya solusi berlebih (*redundant*), artinya adanya solusi yang identik. Misalnya kromosom 3 1 4 2 1 5 dengan 5 3 4 2 3 1, kedua kromosom tersebut merupakan solusi identik dengan kapasitas *bin* yang sama.

Inisialisasi Populasi

Dalam masalah pengepakan barang, terdapat dua cara untuk menginisialisasi populasi yaitu secara acak dan secara heuristik. Pertama, semua inisialisasi individu dibangkitkan secara acak. Namun, hal ini juga relatif mudah dalam menghasilkan semua individu dengan mengaplikasi metode *First-Fit* (FF) pada masalah pengepakan barang. Artinya kita dapat menyusun semua objek ke dalam *bin* berdasarkan aturan FF.

Pada penelitian ini, kromosom dibangkitkan secara acak untuk menempatkan objek ke dalam *bin* sedemikian hingga setiap *bin* terisi tidak melebihi kapasitas maksimalnya. Populasi awal dibangkitkan sebanyak 100 kromosom dengan panjang kromosom bergantung pada banyaknya objek yang akan diangkut. Sebagai contoh, 10 kromosom yang dibangkitkan tersebut adalah sebagai berikut

Tabel 2. Inisialisasi Populasi Awal (10 Kromosom)

Gen kromosom	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	9	8	4	7	5	2	3	1	9
2	4	1	9	9	8	5	6	3	4
3	3	1	2	5	7	6	4	2	9
4	1	9	2	9	3	8	7	2	1
5	3	9	2	8	1	2	6	7	3
6	1	9	8	7	3	4	2	8	6
7	8	3	9	3	7	9	6	1	5
8	6	5	7	6	2	4	3	7	9
9	3	4	3	2	9	5	6	7	2
10	3	3	6	4	8	9	2	7	4

Fungsi Fitness

Fungsi objektif dari masalah pengepakan barang adalah meminimalkan jumlah *bin* yang digunakan. Fungsi *fitness* untuk masalah pengepakan barang adalah

$$f_{BPP} = \frac{\sum_{i=1}^N (F_i / C)^k}{N} \quad (7)$$

dimana N adalah jumlah *bin* yang digunakan pada solusi tersebut, F_i adalah jumlah berat objek pada *bin* ke- i , C adalah kapasitas maksimal yang dapat ditampung setiap *bin* dan k adalah nilai konstan, dengan $k > 1$. Konstanta k menyatakan konsentrasi pada *helite bin* dibandingkan dengan *bin* yang terisi lebih sedikit. Mitsui Gen dan Runwei Cheng (2000) menyatakan bahwa dengan $k = 2$ sudah dapat memberikan hasil yang cukup baik.

Semakin besar nilai *fitness* yang didapat maka semakin baik pula solusi tersebut. Dengan kata lain, solusi tersebut semakin mendekati dengan solusi optimalnya. Tabel 3 adalah nilai *fitness* dari 10 kromosom yang telah dibangkitkan.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Nilai *Fitness* untuk 10 Kromosom

Kromosom ke-	Nilai <i>fitness</i>
1	0.3629
2	0.4278
3	0.4209
4	0.4558
5	0.5517
6	0.4413
7	0.4300
8	0.5175
9	0.4745
10	0.4155
Total	4.4979

Seleksi

Pada penelitian ini, metode seleksi yang akan digunakan dalam masalah pengepakan barang adalah metode roda roulette. Dari nilai *fitness* setiap kromosom, dicari probabilitas setiap kromosom maka diperoleh

Kromosom ke- i = nilai *fitness* ke- i / total *fitness*

Kromosom ke-1 = $0.3629 / 4.4979 = 0.0807 \approx 0.08$

Kromosom ke-2 = $0.4278 / 4.4979 = 0.0951 \approx 0.10$

Kromosom ke-3 = $0.4209 / 4.4979 = 0.0936 \approx 0.09$

Kromosom ke-4 = $0.4558 / 4.4979 = 0.1013 \approx 0.10$

Kromosom ke-5 = $0.5517 / 4.4979 = 0.1227 \approx 0.12$

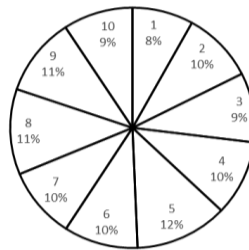
Kromosom ke-6 = $0.4413 / 4.4979 = 0.0981 \approx 0.10$

Kromosom ke-7 = $0.4300 / 4.4979 = 0.0956 \approx 0.10$

Kromosom ke-8 = $0.5175 / 4.4979 = 0.1151 \approx 0.11$

Kromosom ke-9 = $0.4745 / 4.4979 = 0.1055 \approx 0.11$

Kromosom ke-10 = $0.4155 / 4.4979 = 0.0924 \approx 0.09$



Gambar 4. Diagram Probabilitas Nilai *Fitness*

Dari Gambar 4, kromosom 1 akan menempati interval nilai kumulatif $[0; 0.08]$, kromosom 2 menempati interval $(0.08; 0.18]$, kromosom 3 menempati interval $(0.18; 0.27]$, kromosom 4 menempati interval $(0.27; 0.37]$, kromosom 5 menempati interval $(0.37; 0.49]$, kromosom 6 menempati interval $(0.49; 0.59]$, kromosom 7 menempati interval $(0.59; 0.69]$, kromosom 8 menempati interval $(0.69; 0.80]$, kromosom 9 menempati interval $(0.80; 0.91]$ dan kromosom 10 menempati interval $(0.91; 1]$. Misalkan bilangan acak yang dibangkitkan adalah 0.45 maka kromosom 5 dipilih menjadi orang tua. Kromosom 5 dipilih karena 0.45 terdapat dalam interval $(0.37; 0.49]$.

Operator Genetika

Pindah Silang

Pindah silang akan bekerja berdasarkan panjang kromosom dan gen pada kromosom yang direpresentasikan dengan nomor *bin*.

Prosedur pindah silang

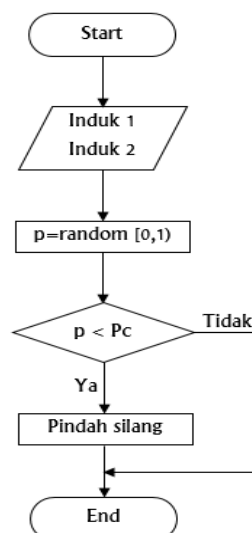
Langkah 1. Pilih dua bagian yang akan dilakukan pindah silang, untuk setiap dua kromosom orang tua.

Langkah 2. Tukar bagian pindah silang dari orang tua pertama dengan bagian pindah silang dari orang tua kedua.

Perlu diingat bahwa pindah silang bekerja dengan kelompok bagian dari kromosom, berarti dilakukan penyisipan beberapa gen dari orang tua pertama ke orang tua kedua.

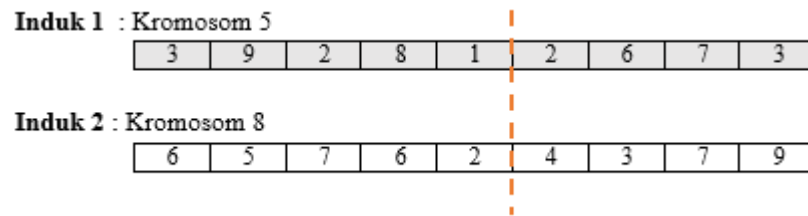
Langkah 3. Jika perlu, gunakan kembali kromosom anak dari *Langkah 2* yang sesuai dengan fungsi kendala dan fungsi objektifnya.

Langkah 4. Ulangi *Langkah 2* dan *Langkah 3* terhadap dua kromosom orang tua untuk menghasilkan kromosom anak selanjutnya.



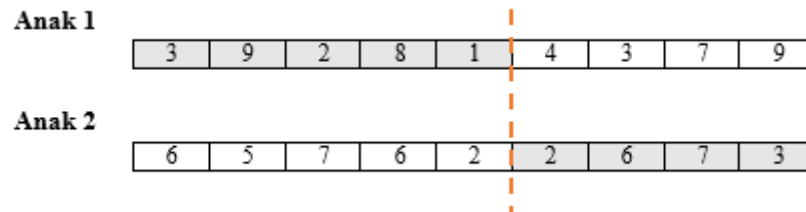
Gambar 5. Diagram Alir Proses Pindah Silang

Pada penelitian ini, dipilih nilai probabilitas pindah silang (p_c) adalah 60% dan 1 titik pindah silang yang dipilih secara acak. Jika kromosom 5 dan kromosom 8 adalah induk untuk pindah silang dan titik pindah silangnya adalah 6. Berikut ini adalah ilustrasi proses pindah silang



Gambar 6. Ilustrasi Kromosom Induk pada Proses Pindah Silang

dan kromosom anak yang terbentuk adalah

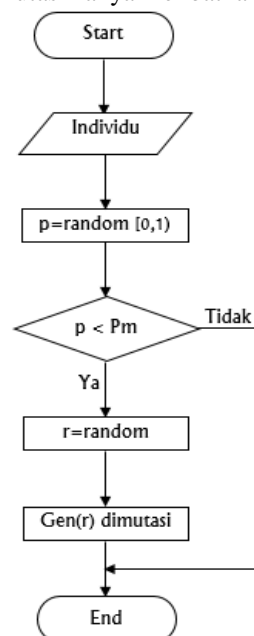


Gambar 7. Ilustrasi Kromosom Anak dari Proses Pindah Silang

Mutasi

Setelah dilakukan proses pindah silang, individu baru dapat dilakukan mutasi. Mutasi adalah proses mengubah nilai dari satu atau beberapa gen yang berada dalam 1 kromosom. Mutasi berfungsi untuk menggantikan gen yang hilang dari populasi akibat proses seleksi yang memungkinkan munculnya kembali gen yang tidak muncul pada inisialisasi populasi.

Probabilitas mutasi didefinisikan sebagai persentase jumlah total gen pada kromosom yang akan mengalami mutasi. Pada penelitian ini, nilai probabilitas mutasi (p_m) yang digunakan adalah $\frac{1}{n}$, dimana n adalah jumlah objek yang akan diangkut (Kusumadewi, 2003). Mutasi hanya melibatkan satu kromosom yang terpilih secara acak.



Gambar 8. Diagram Alir Proses Mutasi

Misalnya kromosom 5 terpilih menjadi induk untuk mutasi. Selanjutnya dipilih titik mutasi pada kromosom induk. Misalnya titik mutasi yang dipilih adalah gen ke-4 dan ke-7. Ilustrasi proses mutasi adalah sebagai berikut

Induk mutasi : Kromosom 8

6	5	7	6	2	4	3	7	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Anak hasil mutasi

6	5	7	2	2	4	5	7	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Gambar 9. Ilustrasi Proses Mutasi

Simulasi Program

Jika data pada Tabel 1 diselesaikan dengan metode *First-Fit*, maka akan menghasilkan pola seperti pada Gambar 10.

	Berat Barang	Pola 1	Pola 2	Pola 3	Pola 4	Pola 5	Pola 6	Pola 7	Pola 8	Pola 9	Pola 10
1	5	1									
2	7	1									
3	3	2									
4	5	2									
5	12	3									
6	11	4									
7	10	5									
8	11	6									
9	9	7									

Gambar 10. Output Data Tabel 1 dengan Metode *First-Fit*

Sedangkan jika data pada Tabel 1 diselesaikan dengan Algoritma Genetika, maka akan menghasilkan pola seperti pada Gambar 11.

Bin Packing Problem

Mencari Pola Pengepakan Barang

Input

Data Barang:

Kapasitas mobil:

Metode Pencarian

☐ First-Fit

☒ Algoritma Genetika

Output

	Berat Barang	Pola 1	Pola 2	Pola 3	Pola 4	Pola 5	Pola 6	Pola 7	Pola 8	Pola 9	Pola 10
1	5	8	8	8	8	8	8	6	4	4	6
2	7	6	6	6	6	6	6	6	4	4	6
3	3	4	4	4	4	4	4	1	9	9	4
4	5	6	6	6	6	6	6	4	3	3	8
5	12	5	5	5	5	5	5	9	7	1	5
6	11	1	1	1	1	1	1	2	1	9	7
7	10	7	7	7	4	7	7	3	6	6	4
8	11	4	4	4	7	4	4	1	9	7	1
9	9	8	8	8	8	8	8	4	3	3	8

Jumlah mobil:

Dibuat Oleh :
Christina Eka Septyaningsih (14 3114 005) ©
Matematika - Universitas Sanata Dharma

(a)

Bin Packing Problem

Mencari Pola Pengepakan Barang

Input

Data Barang:

Kapasitas mobil:

Metode Pencarian

☐ First-Fit

☒ Algoritma Genetika

Output

	Berat Barang	Pola 1	Pola 2	Pola 3	Pola 4	Pola 5	Pola 6	Pola 7	Pola 8	Pola 9	Pola 10
1	5	1	1	8	1	1	1	1	1	1	1
2	7	4	4	8	8	4	4	8	8	8	8
3	3	8	8	6	4	8	8	4	4	4	4
4	5	4	4	4	8	4	4	8	8	8	8
5	12	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3
6	11	7	7	2	7	7	7	7	7	7	7
7	10	8	8	6	4	8	8	4	2	3	4
8	11	2	2	1	2	2	2	2	4	4	2
9	9	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1

Jumlah mobil:

Dibuat Oleh :
Christina Eka Septyaningsih (14 3114 005) ©
Matematika - Universitas Sanata Dharma

(b)

Gambar 11. Output Data Tabel dengan Algoritma Genetika
(a) Percobaan ke-1 dan (b) Percobaan ke-2

Pola pengepakan yang ditunjukkan pada bagian *output* Gambar 10 dan Gambar 11, menyatakan mobil mana yang akan diisi dengan barang yang berkorespondensi. Misalnya pola pada Gambar 11 (a) menunjukkan barang ke-1 dengan berat 5 akan dimasukkan ke mobil 1, barang ke-2 dengan berat 7 akan dimasukkan ke mobil 1, barang ke-3 dengan berat 3 akan dimasukkan ke mobil 2, dan seterusnya.

Dari penelitian di atas, dapat diketahui bahwa penyelesaian masalah pengepakan barang dengan Algoritma Genetika memberikan hasil yang mendekati nilai optimalnya. Gambar 11 menunjukkan bahwa dengan Algoritma Genetika, pengepakan barang hanya membutuhkan 6 mobil untuk membawa seluruh barang. Adapun parameter-parameter yang digunakan dalam penyelesaian masalah pengepakan barang dengan 9 objek adalah

- a. Ukuran populasi = 100 kromosom
- b. Total generasi = 1000 generasi
- c. Probabilitas pindah silang (p_c) = 60%
- d. Probabilitas mutasi (p_m) = $\frac{1}{9} = 11\%$

Semakin banyak populasi dalam satu generasi, semakin banyak pula variasi kromosom yang didapat. Namun, banyaknya populasi akan mempengaruhi lamanya waktu penyelesaian. Banyaknya generasi juga akan berpengaruh pada hasil akhir kromosom. Semakin banyak generasi yang mengalami proses evolusi, maka kromosom akan mendekati solusi optimalnya.

Perlu kita perhatikan bahwa jika menggunakan Algoritma Genetika, maka hasil yang didapatkan tidak selalu sama. Hal ini terjadi karena proses pada Algoritma Genetika bekerja secara acak. Oleh karena itu, perlu dilakukan percobaan berulang kali hingga mendapatkan hasil yang optimal. Akibatnya untuk menyelesaikan beberapa kasus pada masalah pengepakan barang dengan Algoritma Genetika ini dibutuhkan waktu komputasi yang lebih lama dari metode *First-Fit*.

3. KESIMPULAN

Dari kasus masalah pengepakan barang yang diproses dengan Algoritma Genetika, didapatkan hasil yang lebih optimal dibandingkan dengan metode *First-Fit*. Selain itu, diperoleh beberapa alternatif pola pengepakan barang yang optimal dan tidak melebihi kapasitas setiap mobil.

Pada makalah ini ditunjukkan aplikasi berbentuk antar muka pengguna grafis yang dibuat dengan bahasa MATLAB untuk menyelesaikan masalah pengepakan barang berdasarkan metode *First-Fit* dan Algoritma Genetika. Tampilan hasilnya akan berupa pola pengepakan dengan jumlah penggunaan mobil yang diminimumkan. Dengan demikian, aplikasi ini dapat mudah dipahami dan dieksekusi oleh pengguna.

PUSTAKA

- Gen, Mitsuo & Cheng, Runwei. 2000. *Genetic Algorithms and Engineering Optimization*. New York: John Wiley & Sons.
- Kusumadewi, Sri. 2003. *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Martello, Silvano & Toth, Paolo. 1990. *Knapsack Problem Algorithms and Computer Implementations*. New York: John Wiley & Sons.
- Mohamadi, N. 2010. Application of Genetic Algorithm for the Bin Packing Problem with a New Representation Scheme. *Mathematical Sciences*, 4(3): 253-266.
- Suyanto. (2005). *Algoritma Genetika dalam MATLAB*. Yogyakarta: Andi Offset.

PIROLISIS PLASTIK MENJADI BAHAN BAKAR KENDARAAN BERMOTOR

Setiyadi Celerina¹, Ronny A¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik
Universitas Katolik Widya Mandala
Jalan Kalijudan 37, SURABAYA 60114
Telp (031)3891264, Faks (031)3891267
E-mail : setiyadi@ukwms.ac.id

ABSTRAK

Pengolahan sampah plastik yang paling banyak dilakukan adalah dengan proses pirolisis, karena dengan pirolisis sampah plastik dapat diubah menjadi bahan bakar kendaraan bermotor. Untuk mengetahui hal ini maka perlu melakukan penelitian guna mengetahui sifat-sifat dari hasil pirolisis plastik tersebut.. Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah hanya cairan distilat dalam bentuk cair yang dianalisa. Jalannya penelitian yang dilakukan adalah tabung pirolisis diisi dengan 100 gram limbah plastik polietilena. Lalu gas nitrogen dialirkan ke tabung pirolisis selama 2 – 3 menit guna mengusir gas oksigen yang ada dalam tabung pirolisis. Lalu tabung pirolisis dipanaskan sampai suhu 350°C selama 2 jam. Pada volume distilat yang terbentuk, densitas dan suhu didihnya diukur. Percobaan ini diulangi dengan memvariasikan temperatur dalam tabung pirolisis. Percobaan juga dilakukan untuk limbah plastik yang berupa polipropilena. Hasil penelitian yang didapatkan bahwa berdasarkan densitas maka cairan distilat dari pirolisis plastik jenis polietilena sesuai dengan bensin komersial sedang cairan hasil pirolisis plastik polipropilena kurang sesuai. Berdasarkan suhu didih distilat maka cairan distilat hasil pirolisis polietilena lebih banyak mengandung senyawa hidrokarbon yang setara bahan bakar bensin dibanding cairan hasil hidrolisis polipropilena.

Kata kunci : sampah plastik, pirolisis, cairan distilat, senyawa hidrokarbon.

1. PENDAHULUAN.

1.1. Latar Belakang

Plastik memiliki densitas yang rendah dan bersifat isolator, mempunyai kekuatan mekanik yang besar, tahan terhadap suhu tinggi, serta tahan bahan kimia. Plastik juga mudah dalam perancangan dan biaya pembuatan murah. Hal ini yang menyebabkan manusia tidak pernah bisa terlepas dari pemakaian plastik. Namun setelah menjadi sampah persoalan sampah plastik merupakan sebuah fenomena nasional sebab sampah plastik termasuk limbah yang berbahaya karena plastik merupakan bahan yang sulit terurai dan membutuhkan waktu lama untuk bisa mengurainya, sehingga sampah plastik tergolong dalam sampah non organik yang sangat berbahaya bagi lingkungan. Hal ini membutuhkan solusi untuk mengatasi masalah tersebut. Salah satu cara menanganinya adalah limbah plastik dimanfaatkan dan diolah menjadi sesuatu yang berguna.. Pengolahan sampah plastik yang paling banyak dilakukan adalah dengan proses pirolisis. Limbah plastik melalui proses pirolisis diubah menjadi bahan bakar. Banyak peneliti yang melakukan pirolisis sampah plastik menjadi bahan bakar, namun sampai saat ini bahan bakar hasil penelitian yang diperoleh tidak jelas peruntukannya padahal pada konsep pirolisis sampah plastik yang dipanaskan terjadi proses perengkahan (cracking), cairan hasil kondensasi bisa digunakan sebagai bahan bakar cair yang setara dengan bensin, solar, avtur ataupun bahan bakar yang lain. Maka dengan metode pirolisis ini, sampah plastik bisa dipandang sebagai sumber energi yang dapat berguna bagi kendaraan bermotor. Guna mengetahui sampai seberapa jauh hasil pirolisis plastik ini bisa sebagai bahan bakar maka perlu melakukan penelitian guna mengetahui sifat-sifat dari hasil pirolisis tersebut. Dengan mengetahui sifat-sifat hasil pirolisis plastik maka dapat mengetahui jenis bahan bakar yang dapat diaplikasikan pada mesin sehingga ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dapat dikurangi secara bertahap. Maka dalam penelitian ini bertujuan guna mengetahui cairan hasil pirolisis plastik terhadap jenis bahan bakar yang dapat diaplikasikan dalam mesin. Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah hanya hasil distilat dalam bentuk cair yang diteliti.

1.2. Tinjauan Pustaka

1.2.1. Plastik

Plastik adalah material organik sintetik yang berasal dari minyak bumi atau gas bumi. Pengolahan sampah plastik yang efektif adalah memutus rantai polimer. Metode pemecahan rantai polimer yang dapat dilakukan adalah pirolisis, gasifikasi, degradasi termal maupun katalitik. Pengolahan sampah plastik yang paling memungkinkan adalah dengan proses pirolisis (Thahir dkk, 2013). Pada reaksi terjadi pemutusan ikatan -C-C- secara dehidrogenasi, isomerisasi dan polimerisasi. Namun demikian, reaksi dehidrogenasi merupakan reaksi utama. Dalam proses pirolisis terjadi penguraian material organik secara termal pada suhu tinggi tanpa adanya kontak dengan oksigen sehingga plastik yang merupakan senyawa hidrokarbon rantai panjang dapat mengalami reaksi cracking menjadi senyawa hidrokarbon berantai pendek. Pada pirolisis plastik terjadi reaksi cracking karena plastik berupa polimer yang rantainya panjang sehingga cara pengolahannya harus diubah menjadi rantai pendek. Pada bahan bakar, makin panjang rantai atom C makin sulit dibakar karena untuk rantai atom C yang panjang bila dibakar memerlukan energi lebih banyak untuk memutus rantai atom menjadi atom-atomnya, sehingga makin pendek rantai atom C makin besar kalor yang dihasilkan. Dalam proses pirolisis, rantai karbon yang berupa polimer pada plastik mengalami proses cracking menjadi hidrokarbon rantai pendek dan menghasilkan produk cair serta gas. Pada pirolisis plastik yang berupa campuran polietilen, polipropilen dan polystyrene menghasilkan produk minyak dengan komponen C_5H_{12} sampai $C_{13}H_{28}$, (Lopez dkk, 2011). Pada pirolisis plastik tidak menghasilkan senyawa aromatis (Nugraha dkk, 2013). Reaksi perengkahan pada plastik berupa reaksi pemutusan ikatan C-C dari suatu senyawa hidrokarbon. Pada pirolisis tanpa katalis reaksi yang terjadi adalah thermal cracking sedang yang menggunakan katalis reaksi yang terjadi catalytic cracking dan hidrocracking. Proses perengkahan pada metode thermal Cracking adalah proses penguraian yang menggunakan suhu tinggi serta tekanan rendah, suhu yang digunakan dapat mencapai temperature 800°C dan tekanan maksimum 700 kpa. Partikel ringan yang memiliki hidrogen dalam jumlah banyak terbentuk karena penguraian molekul berat. Reaksi yang terjadi pada proses ini menghasilkan alkane dan alkena.. Mekanisme yang terjadi adalah pemutusan ikatan -C-C- Reaksi bersifat ireversibel endotermis . Thermal cracking molekul parafin menghasilkan rantai dengan ukuran molekul yang lebih rendah dan masuk dalam golongan parafin serta olefin (Lopez dkk., 2011).

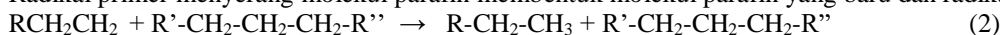
Reaksi yang terjadi di dalam proses pirolisis adalah pada suhu 100° C plastik mulai mengalami melting (pelelehan). Pada suhu 270°C terjadi perubahan dari cairan menjadi uap. Uap yang dihasilkan didinginkan, hasil pendinginan berupa cairan yang disebut minyak cair (minyak mentah) serta yang tidak mencair disebut gas. Proses Pirolisis berlangsung lama, karena dalam proses tersebut terjadi pemotongan rantai hidrokarbon yang panjang menjadi rantai hidrokarbon pendek. Ketika rantai hidrokarbon yang pendek menghasilkan minyak cair, maka senyawa lain yang tidak bisa mencair dan tetap berbentuk gas adalah hidrokarbon yang berupa CH_4 (methane) sampai C_4H_{10} (butane), sedang dalam bentuk cair berupa C_5H_{12} sampai $C_{40}H_{82}$. Dalam pirolisis plastik juga terbentuk padatan warna hitam. Karena minyak yang dihasilkan masih tercampur dengan air, dan kadar abu sisa (Shaker and Rashid, 2013).

1.2.2. Mekanisme reaksi cracking.

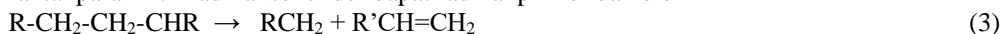
Radikal primer mengalami pemutusan pada posisi karbon membentuk molekul etena.



Radikal primer menyerang molekul parafin membentuk molekul parafin yang baru dan radikal sekunder



Terjadi perpindahan posisi hidrogen pada molekul yang sama bila rantai hidrokarbon panjang dan membentuk rantai paraffin. Radikal sekunder dapat radikal primer dan olefin



Proses pirolisis alkana menunjukkan bahwa rantai karbon yang panjang pecah menjadi rantai karbon yang pendek. Sebagai contoh C_4H_{10} yang dipanaskan bisa berubah menjadi CH_4 dan C_3H_6 atau berubah menjadi C_2H_6 dan C_2H_4 . (Billmeyer, 1984)

1.2.3 Minyak bumi.

Minyak bumi merupakan campuran dari senyawa Hidrokarbon Alifatik, Siklik, Aromatik, dan sedikit sekali senyawa Nitrogen (N), serta Belerang (S). Komposisi minyak bumi tergantung dari umur, tempat, dan suhu pembentuknya. Hidrokarbon alifatik dalam bentuk alkana (parafin) dan yang berupa siklik naptene, serta dalam wujud aromatik adalah senyawa dalam bentuk benzene. Kandungan senyawa hidrokarbon dalam minyak bumi antara 90% - 99% sehingga kandungan senyawa unsur-unsur lain kurang dari 10% (Hardjono, 2007). Komposisi hasil pengolahan minyak bumi disajikan dalam tabel 1. .

Tabel 1. Hasil Pengolahan dari minyak bumi.

Nomer	Fraksi	Jumlah atom C	Suhu didih ($^{\circ}\text{C}$)	Kegunaan
1	Gas	1 – 4	Kurang dari 20°C	Sebagai elpiji
2	Gasolin (bensin)	5 – 10	40-180	Untuk bahan bakar kenda-raan bermotor
3	Napta	6 - 10	70-180	Sebagai bahan baku industri petrokimia
4	Kerosin/ parafin	11 – 14	180-250	Bahan bakar pesawat serta bahan bakar kompor
5	Minyak diesel	13 – 17	250-300	Bahan bakar kendaraan diesel (solar)
6	Minyak pelumas	18 – 20	300-350	Minyak pelumas
7	Lilin	Lebih dari 20	Lebih dari 350°C	Lilin, semir sepatu, vaselin, dan lain-lain.
8	Minyak bakar	Lebih dari 20	Lebih dari 350°C	Bahan bakar kapal, industri
9	Bitumen/ aspal	Lebih dari 20	Lebih dari 350°C	Aspal, lapisan anti korosi, isolasi listrik dan lain-lain

1.2.4. Hubungan antara hasil pirolisis plastik dengan hasil pengolahan minyak bumi.

Hasil pirolisis plastik adalah senyawa hidrokarbon dari pemecahan rantai polimer sedang hasil pengolahan minyak bumi berupa senyawa hidrokarbon dengan rantai pendek sampai menengah. Berarti dari komposisi kualitatif antara hasil pirolisis plastik dan hasil pengolahan minyak bumi sama-sama terdiri dari senyawa hidrokarbon. Oleh karena itu dengan mengetahui sifat-sifat pada cairan distilat dari hasil pirolisis plastik, maka dapat mengetahui kesesuaian senyawa hidrokarbon yang dihasilkan dari pirolisis plastik dengan jenis-jenis bahan bakar dalam tabel 1, sehingga dapat mengetahui jenis bahan bakar dari hasil pengolahan minyak bumi yang dapat digantikan oleh cairan distilat dari hasil pirolisis limbah plastik.

1.3. Metodologi Penelitian.

1.3.1. Rancangan penelitian.

Pada penelitian pirolisis sampah plastik ini, bahan baku yang dipakai berupa polietilena adalah low density polyethylene (LDPE) yang berupa tas kresek serta polipropilena dalam bentuk low density polypropylene (LDPP) yang berupa gelas plastik atau botol plastic tempat air mineral. Bahan baku tersebut dipilih karena banyak digunakan masyarakat serta berpotensi menjadi limbah berbahaya

Pada proses pirolisis agar plastik tidak terkontaminasi oksigen dari udara maka sebelum dipanaskan dalam alat pirolisis (reactor) dialiri gas nitrogen selama 2 sampai 3 menit. Proses pirolisis dilaksanakan pada tekanan 1 atm. . Perlakuan awal yang dilakukan, sampah dicuci lalu dipotong kecil-kecil untuk mempermudah degradasi kemudian dipanaskan... Proses Pirolisis berlangsung lama, karena pada proses tersebut terjadi pemotongan rantai hidrokarbon yang panjang menjadi rantai hidrokarbon yang pendek. Uap hasil kondensasi yang keluar melewati kondensor adalah cairan (minyak mentah) serta gas. Hasil dari destilasi sampah plastik (minyak mentah) merupakan campuran dari beberapa komponen hidrokarbon. Guna mengetahui kesesuaian antara hasil penelitian dengan jenis bahan bakar maka distilat hasil percobaan diukur volumenya serta dianalisa densitas dan suhu didihnya. Variabel berubah yang dipakai selain jenis limbah plastik adalah suhu. Jenis limbah plastik divariasi karena limbah plastik yang digunakan mempunyai senyawa kimia yang berbeda, sehingga bila dipanaskan maka limbah plastik mempunyai persamaan reaksi yang berbeda-beda akibatnya secara kualitatif maupun kuantitatif senyawa hidrokarbon yang terbentuk mempunyai komposisi yang berbeda pula sehingga jenis bahan bakar yang dihasilkan berbeda pula. Suhu pirolisis divariasi karena suhu sangat berpengaruh terhadap kecepatan reaksi cracking.. Pada umumnya dalam proses pirolisis menggunakan suhu antara 350 sampai 730°C sehingga suhu penelitian yang dipilih antara 350 sampai 600°C .

1.3.2. Jalannya Penelitian.

Tabung Pirolisis diisi 100 gram limbah plastik polietilen lalu ditutup. Gas nitrogen dialirkan ke tabung pirolisis selama 2 – 3 menit guna mengusir gas oksigen yang ada dalam tabung pirolisis. Tabung pirolisis dipanaskan sampai suhu 350°C selama 2 jam. Volume cairan yang terbentuk diukur lalu suhu didih serta densitasnya juga diukur.

Percobaan ini diulangi dengan memvariasikan temperatur dalam tabung pirolisis. Cara percobaan ini juga dilakukan untuk limbah plastik yang berupa poli propilen.

2. PEMBAHASAN

.Hasil penelitian yang diperoleh berupa harga densitas distilat, volume distilat, dan suhu didih distilat. Hubungan antara suhu pirolisis dengan densitas cairan distilat disajikan dalam tabel 2, untuk volume distilat yang dihasilkan disajikan pada tabel 3 dan gambar 1. Hubungan antara suhu pirolisis dengan suhu didih distilat diberikan dalam tabel 4 dan gambar 2.

Berdasarkan keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi bensin komersial harus memiliki densitas 715 – 780 kg/m³ (Hardjono 2017). Pada tabel 2 memperlihatkan bahwa harga densitas distilat untuk pirolisis polietilena antara 730 - 781 kg/m³ sehingga distilat dari hasil pirolisis etilena sudah sesuai dengan standard bensin komersial. Untuk densitas distilat hasil pirolisis polipropilena antara 773 - 821 kg/m³, berarti untuk distilat dari hasil pirolisis propilena hanya pada suhu pirolisis 350⁰C yang masih sesuai dengan standard bensin komersial sedang pada suhu pirolisis diatas 350⁰C kurang sesuai dengan standard bensin komersial.

Tabel 2. Hubungan antara Suhu Pirolisis dengan Densitas Cairan Distilat

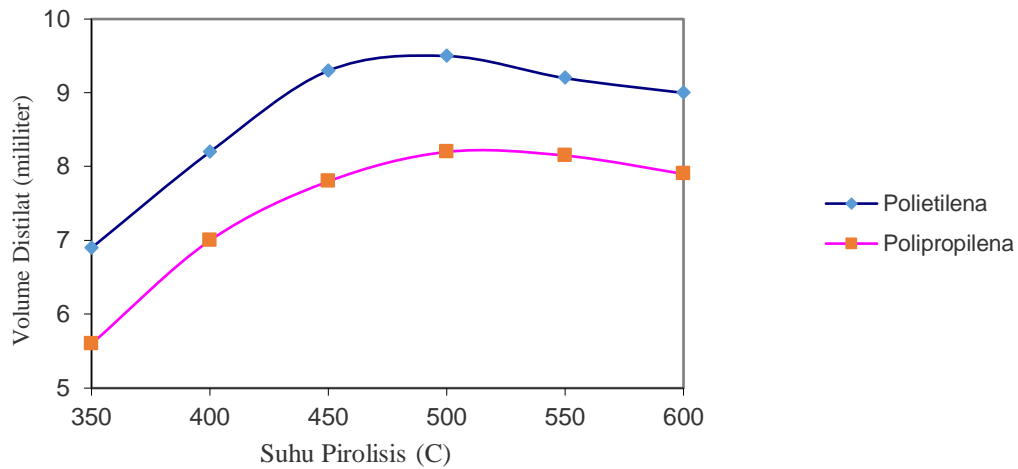
Nomer	Suhu Pirolisis	Densitas Distilat (kg/m ³)	
		Pada Pirolisis Polietilena	Pada Pirolisis Polipropile
1	350	730	773
2	400	747	787
3	450	765	798
4	500	772	812
5	550	779	815
6	600	781	821

Tabel 3. Hubungan antara Suhu Pirolisis dengan Volume Distilat

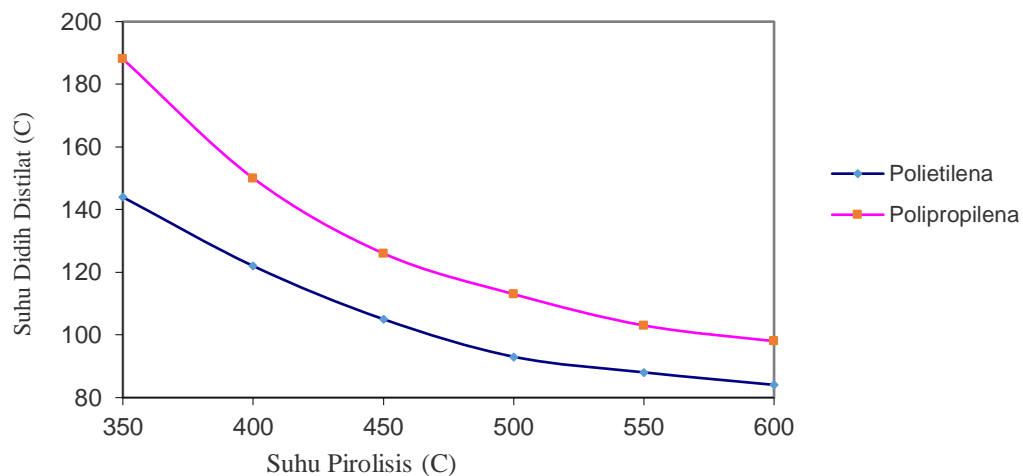
Nomer	Suhu Pirolisis	Volume Distilat (milliliter)	
		Pada Pirolisis Polietilena	Pada Pirolisis Polipropilena
1	350	6,9	5,6
2	400	8,2	7,0
3	450	9,3	7,8
4	500	9,5	8,2
5	550	9,2	8,15
6	600	9,0	7,9

Tabel 4. Hubungan antara Suhu Pirolisis (°C) dengan Suhu Didih Distilat (°C)

Nomer	Suhu Pirolisis	Volume Distilat (milliliter)	
		Pada Pirolisis Polietilena	Pada Pirolisis Polipropilena
1	350	144	188
2	400	122	150
3	450	105	126
4	500	93	113
5	550	88	103
6	600	84	98



Gambar 1. Hubungan antara Suhu Pirolisis (C) dengan Volume Distilat (mililiter)



Gambar 2. Hubungan antara Suhu Pirolisis (C) dengan Suhu Didih Distilat (C)

Pada tabel 3 dan gambar 1 menunjukkan bahwa pada suhu pirolisis dari 350°C sampai 500°C, semakin tinggi suhu maka volume distilat yang dihasilkan semakin banyak. Berarti makin tinggi suhu maka konversi reaksi akibat pemecahan rantai karbon polimer menjadi rantai karbon yang lebih pendek semakin besar. Hal ini disebabkan karena makin tinggi suhu maka kecepatan reaksi makin besar. Pada tabel 3 dan gambar 1 itu pula untuk pirolisis pada suhu diatas 500°C semakin tinggi suhu maka volume distilat makin kecil, hal ini berarti makin tinggi suhu maka senyawa rantai pendek dari hasil reaksi pemecahan senyawa polimer pecah lagi menjadi senyawa yang lebih pendek. Pada senyawa hidrokarbon maka semakin pendek rantai karbon maka ikatan antar molekul dalam senyawa tersebut makin renggang, sehingga untuk senyawa dengan rantai karbon yang sangat pendek maka cenderung berbentuk gas. Berarti untuk suhu pirolisis diatas 500°C maka senyawa dengan rantai karbon pendek yang terbentuk dari pemecahan rantai polimer plastik pecah lagi menjadi senyawa dengan rantai karbon yang lebih pendek lagi yang berbentuk gas. Pada tabel 3 dan gambar 1 juga memperlihatkan bahwa pada pirolisis polietilena menghasilkan volume distilat yang lebih besar dari pada pirolisis polipropilena, berarti bila senyawa polietilena dipanaskan maka polietilena lebih mudah membentuk senyawa hidrokarbon dengan rantai yang lebih pendek dibanding pirolisis polipropilena. Berarti cairan hasil pirolisis polietilena lebih banyak mengandung senyawa hidrokarbon dengan jumlah atom C yang lebih kecil,

sehingga berdasarkan tabel 1 cairan hasil pirolisis polietilena cenderung lebih banyak menghasilkan bahan bakar dengan kandungan bensin yang lebih tinggi.

Pada tabel 4 serta gambar 2 menunjukkan bahwa suhu pirolisis makin tinggi maka suhu didih distilat makin kecil. Pada suhu pirolisis dari 350°C sampai 500°C, semakin tinggi suhu pirolisis maka suhu didih distilat mengalami penurunan yang tajam. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pirolisis maka reaksi pemecahan rantai karbon semakin banyak menghasilkan senyawa hidrokarbon dengan rantai pendek, dengan kata lain makin tinggi suhu pirolisis maka konversi reaksi yang menghasilkan senyawa hidrokarbon rantai pendek makin besar. Berarti reaksi pemecahan rantai karbon polimer plastik menjadi rantai karbon yang pendek semakin besar. Hal ini disebabkan karena makin tinggi suhu pirolisis maka kecepatan reaksi makin besar. Pada gambar 2 itu pula untuk pirolisis pada suhu diatas 500°C suhu didih distilat cenderung konstan. Hal ini berarti makin tinggi suhu maka terbentuknya senyawa hidrokarbon rantai pendek yang berbentuk cair pecah lagi menjadi rantai karbon yang lebih pendek lagi dan dalam bentuk gas. Hal seperti ini juga diperlihatkan pada peristiwa berkurangnya volume distilat. Berarti untuk suhu pirolisis diatas 500°C maka ada senyawa hidrokarbon yang sudah terbentuk dan berbentuk cair mengalami pemecahan lagi menjadi senyawa dengan rantai karbon yang lebih pendek yang berbentuk gas. Pada tabel 4 dan gambar 2 juga memperlihatkan bahwa pada pirolisis polietilena menghasilkan suhu didih cairan distilat yang lebih kecil dari pada pirolisis polipropilena. Berarti bila senyawa polietilena dipanaskan maka polietilena lebih mudah membentuk senyawa hidrokarbon dengan rantai yang lebih pendek dibanding pirolisis polipropilena. Maka distilat hasil pirolisis polietilena lebih banyak mengandung senyawa hidrokarbon dengan jumlah atom C yang lebih kecil. Sehingga berdasarkan tabel 1 cairan hasil pirolisis polietilena juga cenderung lebih banyak menghasilkan bahan bakar dengan kandungan bensin yang lebih tinggi dibanding pirolisis polipropilena.

3. KESIMPULAN

- Berdasarkan densitas distilat maka cairan distilat hasil pirolisis plastik jenis polietilena sudah sesuai dengan bensin komersial sedang cairan hasil pirolisis plastik polipropilena yang sesuai pada suhu pirolisis 350°C.
- Volume distilat yang dihasilkan pada proses pirolisis polietilena mempunyai harga paling besar pada suhu antara 450°C sampai 500°C sedang untuk pirolisis polipropilena antara suhu 500°C sampai 550°C.
- Berdasarkan suhu didih distilat maka cairan hasil pirolisis polietilena lebih banyak mengandung bahan bakar setara bensin dibanding hasil pirolisis polipropilena.

PUSTAKA

- Billmeyer, F. W., 1984, *Textbook of Polymer Science*, p.p 72-78, John Wiley and Sons.
- Hardjono, 2007, *Teknologi Minyak Bumi*, Edisi Pertama, hal 52-62, Gadjah Mada University Press,
- Lopez A., Marco I., Caballero B. M., Laresgoiti M. F., and Adrados A., 2011, Influence of Time and Temperature on Pyrolysis of Plastic Waste in a Semi-Batch Reactor, *Chemical Engineering Journal*, 173, 62-71.
- Nugraha M. F., Wahyudi A., dan Gunardi I, 2013., Pembuatan Fuel dari Liquid hasil Pirolisis Plastik Propilen melalui Proses Reforming dengan Katalis NiO-Al₂O₃, *Jurnal Teknik Pomits*, II (2), F-299 – F-303.
- Shaker M. And Rashid M., 2013, Container Waste Plastic Conversion into Fuel, *International Journal of Engineering and Applied Science*, III (1), 812-817.
- Thahir R., Alwathan, dan Mustafa, 2013, Spesifikasi dan Analisa Kualitas Bahan Bakar Hasil Pirolisis Sampah Plastik jenis Polypropylene, *Jurnal Teknologi Pengolahan Limbah*, 16, 153-156.

SIMULASI NUMERIS GELOMBANG PERIODIK DI PANTAI BERTOPOGRAFI MIRING MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ANUGA

Sudi Mungkasi

*Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma,
Mrican, Tromol Pos 29, Yogyakarta 55002, Indonesia,
E-mail: sudi@usd.ac.id*

ABSTRAK

Makalah ini menyajikan hasil penelitian tentang suatu gelombang periodik yang terjadi di pantai bertopografi miring. Model matematika yang diterapkan adalah sistem persamaan gelombang air dangkal. Model ini diselesaikan secara numeris menggunakan perangkat lunak ANUGA. Metode numeris yang menjadi inti perangkat lunak ANUGA adalah metode volume hingga. Penelitian ini bertujuan untuk memvalidasi ANUGA untuk simulasi gelombang periodik di pantai bertopografi miring. Uji numeris yang dipilih adalah suatu masalah yang diketahui solusi eksaknya, sehingga solusi numeris dapat dibandingkan dengan solusi eksak tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa solusi numeris ANUGA sangat akurat. Dengan demikian, diyakini bahwa perangkat lunak ANUGA bisa digunakan untuk simulasi numeris gelombang periodik di pantai bertopografi miring untuk kasus umum, yang biasanya solusi eksaknya tidak diketahui.

Kata Kunci: simulasi numeris, gelombang periodik, pantai, topografi miring, ANUGA

1. PENDAHULUAN

1.1 Pengertian Gelombang Air Dangkal

Gelombang air dangkal adalah gelombang air dengan sifat bahwa amplitudo gelombangnya amat sangat kecil jika dibandingkan dengan panjang gelombangnya. Salah satu contoh gelombang air dangkal adalah tsunami yang terjadi di laut. Meskipun kedalaman laut secara fisik sangat dalam, gelombang tsunami yang terjadi di laut mempunyai amplitudo yang amat sangat kecil dibandingkan dengan panjang gelombang tsunami. Contoh lain adalah gelombang pantai dengan amplitudo yang kecil.

Tujuan penelitian ini adalah memvalidasi suatu perangkat lunak (bernama ANUGA) untuk simulasi pergerakan gelombang air dangkal yang terjadi di pantai bertopografi miring. Secara umum gelombang pantai yang dekat dengan daratan bisa menjadi gelombang air dalam. Namun demikian, pembahasan makalah ini terbatas pada gelombang pantai yang diasumsikan memenuhi syarat pengertian gelombang air dangkal.

Manfaat mempelajari gelombang air dangkal di pantai bisa dikaitkan dengan bidang pemanenan energi, transportasi, perikanan, dan lain-lain. Dalam bidang pemanenan energi, gelombang pantai bisa diperlakukan sebagai pembangkit listrik dengan diambil energi kinetiknya. Dalam bidang transportasi, penelitian gelombang pantai bisa digunakan untuk perencanaan pembangunan pelabuhan kapal laut. Dalam bidang perikanan, penelitian ini bisa dikaitkan dengan waktu bagi nelayan untuk menangkap ikan. Tentunya masih banyak manfaat lain dari penelitian ini.

1.2 Tinjauan Pustaka

Gelombang air dangkal telah dimodelkan secara gradual mulai dari yang sederhana hingga yang rumit. Secara sederhana, gelombang air dangkal telah dimodelkan oleh Saint-Venant pada abad kesembilanbelas. Saint-Venant (1871) menerbitkan hasil penelitiannya tentang gelombang air dangkal pada topografi datar dalam ruang satu dimensi. Lebih lanjut, model tersebut telah digunakan untuk menyelesaikan masalah bendungan bobol dengan topografi datar dengan satu sisi bendungan basah dan sisi yang lainnya kering oleh Ritter (1892). Masalah bendungan bobol dengan topografi datar dengan semua sisi bendungan basah telah diselesaikan secara eksak oleh Stoker (1948). Model Saint-Venant satu dimensi selanjutnya diperumum menjadi dua dimensi dan tiga dimensi, misalnya lihat karya LeVeque (2002). Sistem persamaan yang lebih umum adalah sistem persamaan Navier-Stokes. Model-model ini telah dipelajari untuk simulasi berbagai aliran ataupun gelombang, misalnya aliran air sungai dan gelombang air laut.

Gelombang air dengan amplitudo berhingga yang terjadi di pantai bertopografi miring telah dipelajari oleh sejumlah peneliti. Carrier dan Greenspan (1958) menyajikan dua jenis solusi eksak gelombang di pantai bertopografi miring, yaitu solusi transien dan solusi periodik. Gelombang pantai juga dipelajari secara numeris dan analitis, misalnya oleh Aydin dan Kanoglu (2017), Bellotti dan Brocchini (2001), Briganti dan Dodd (2009), Brocchini dkk. (2002), serta Dietrich dkk. (2004). Namun demikian, perlu ada suatu perangkat lunak yang valid yang memudahkan

para peneliti untuk mensimulasikan masalah gelombang pantai. Makalah ini akan mengisi celah penelitian tersebut dengan melakukan validasi perangkat lunak ANUGA.

1.3 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam makalah ini adalah kajian pustaka yang dilengkapi dengan uji numeris. Kajian pustaka meliputi model matematika dan penyelesaian eksak yang terkait tema penelitian. Uji numeris yang dimaksud adalah simulasi kasus gelombang periodik di pantai menggunakan perangkat lunak ANUGA yang berdasarkan metode volume hingga. Solusi yang dihasilkan oleh ANUGA dalam uji numeris dibandingkan dengan solusi eksaknya. Hasil ini dianalisis dan didiskusikan untuk selanjutnya diambil rekomendasi yang berguna bagi khalayak.

2. PEMBAHASAN

Dalam bagian ini secara berurutan dijabarkan model matematika, solusi eksak sistem persamaan gelombang air dangkal, perangkat lunak ANUGA, setting simulasi numeris, serta hasil dan diskusi penelitian.

2.1 Model Matematika

Sistem persamaan air dangkal adalah sistem persamaan simultan yang dalam satu dimensi diberikan oleh dua persamaan berikut:

$$\left[\bar{u}(\bar{\eta} + \bar{h}) \right]_{\bar{x}} = -\bar{\eta}_t, \quad (1)$$

$$\bar{u}_t + \bar{u} \bar{u}_{\bar{x}} = -g \bar{\eta}_{\bar{x}}, \quad (2)$$

yang secara berturut-turut adalah persamaan kekekalan massa dan persamaan kekekalan momentum. Di sini, \bar{x} adalah variabel ruang, \bar{t} adalah variabel waktu, $\bar{u}(\bar{x}, \bar{t})$ adalah kecepatan gerak air, $\bar{\eta}(\bar{x}, \bar{t})$ adalah ketinggian air diukur dari permukaan acuan ke permukaan air secara vertikal, $\bar{h}(\bar{x})$ adalah kedalaman air diukur dari permukaan acuan ke permukaan topografi secara vertikal, dan g adalah konstanta percepatan gravitasi. Sebagai catatan bahwa kedalaman total adalah jarak antara permukaan air dan permukaan topografi, sehingga kedalaman total adalah $\bar{w}(\bar{x}, \bar{t}) = \bar{\eta}(\bar{x}, \bar{t}) + \bar{h}(\bar{x})$. Tanda bar di atas variabel digunakan untuk melambangkan bahwa variabel tersebut adalah variabel berdimensi.

Carrier dan Greenspan (1958) mengenalkan kuantitas-kuantitas tak-berdimensi sebagai berikut:

$$u = \frac{\bar{u}}{u_0}, \quad \eta = \frac{\bar{\eta}}{\alpha l_0}, \quad x = \frac{\bar{x}}{l_0}, \quad t = \frac{\bar{t}}{T}, \quad c^2 = \frac{(\bar{h} + \bar{\eta})}{\alpha l_0}, \quad (3)$$

dengan

$$T = \frac{l_0}{\alpha g}, \quad v_0 = \sqrt{g l_0 \alpha}. \quad (4)$$

Di sini, u_0 adalah suatu kecepatan acuan, l_0 adalah panjang acuan, dan kedalaman air diasumsikan mempunyai kemiringan seragam yaitu $\bar{h} = -\alpha \bar{x}$. Substitusi kuantitas-kuantitas tak-berdimensi (3) dan (4) ke dalam persamaan (1) dan (2) menghasilkan sistem persamaan gelombang air dangkal tak berdimensi:

$$u_t + uu_x + \eta_x = 0, \quad (5)$$

$$\left[u(\eta - x) \right]_x + \eta_t = 0. \quad (6)$$

Sistem persamaan air dangkal (1) dan (2) serta (5) dan (6) merupakan persamaan-persamaan hiperbolik. Solusinya bisa bersifat kontinu maupun diskontinu (LeVeque, 1992). Bahkan solusinya bisa menjadi diskontinu meskipun kondisi awalnya bersifat kontinu.

2.2 Solusi Eksak Sistem Persamaan Gelombang Air Dangkal

Hingga saat ini, sistem persamaan gelombang air dangkal belum ditemukan solusi umumnya. Solusi eksak hanya tersedia untuk kasus-kasus khusus. Salah satu kasus khusus yang sudah ditemukan solusi eksaknya adalah masalah gelombang periodik di pantai bertopografi miring.

Untuk menyelesaikan masalah gelombang periodik di pantai bertopografi miring secara eksak, Carrier dan Greenspan (1958) menulis ulang sistem (5) dan (6) ke dalam bentuk dengan α dan β berperan sebagai variabel-variabel bebas, serta u , c , x , t berperan sebagai variabel tak-bebas yang bergantung pada α dan β . Mengikuti transformasi yang pernah digunakan oleh Stoker (1948):

$$x_\beta - (u + c)t_\beta = 0, \quad (7)$$

$$x_\alpha - (u - c)t_\alpha = 0, \quad (8)$$

$$u_\beta + 2c_\beta + t_\beta = 0, \quad (9)$$

$$u_\alpha - 2c_\alpha + t_\alpha = 0, \quad (10)$$

persamaan (9) dan (10) dapat diintegrasikan secara eksplisit menjadi:

$$u + 2c + t = \alpha, \quad (11)$$

$$u - 2c + t = -\beta. \quad (12)$$

Di sini, "konstanta integrasi" telah dipilih agar perhitungan-perhitungan menjadi sederhana. Dari persamaan (11) dan (12), diperoleh:

$$u + t = (\alpha - \beta)/2 = \lambda/2, \quad (13)$$

$$c = (\alpha + \beta)/4 = \sigma/4, \quad (14)$$

dengan $\lambda = \alpha - \beta$ dan $\sigma = \alpha + \beta$. Akhirnya dengan menetapkan λ dan σ sebagai variabel bebas menggantikan α dan β , persamaan (7) dan (8) menjadi:

$$x_\sigma - ut_\sigma + ct_\lambda = 0, \quad (15)$$

$$x_\lambda + ct_\sigma - ut_\lambda = 0. \quad (16)$$

Eliminasi variabel x dari persamaan (15) dan (16) menghasilkan suatu persamaan diferensial parsial linear orde dua untuk variabel t , yaitu:

$$\sigma(t_{\lambda\lambda} - t_{\sigma\sigma}) - 3t_\sigma = 0, \quad (17)$$

dan karena $u + t = \lambda/2$ maka u juga harus memenuhi persamaan (17). Lebih lanjut, dengan mengacu pada persamaan (13) dan (16), jika dikenalkan fungsi potensial $\phi(\sigma, \lambda)$ sehingga berlaku

$$v = \sigma^{-1} \phi_\sigma(\sigma, \lambda), \quad (18)$$

maka diperoleh bahwa solusi persamaan air dangkal tak-berdimensi harus memenuhi empat persamaan berikut:

$$x = \phi_\lambda/4 - \sigma^2/16 - u^2/2, \quad (19)$$

$$\eta = c^2 + x = \phi_\lambda/4 - u^2/2, \quad (20)$$

$$t = \lambda/2 - u, \quad (21)$$

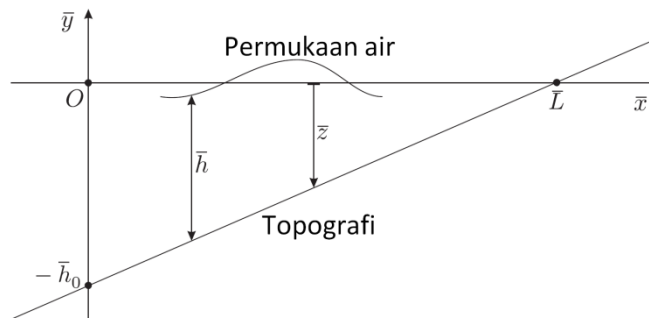
$$(\sigma\phi_\sigma)_\sigma - \sigma\phi_{\lambda\lambda} = 0. \quad (22)$$

Salah satu solusi khusus untuk empat persamaan (7)-(10) adalah:

$$\phi = AJ_0(\omega\sigma)\cos(\omega\lambda - \psi), \quad (23)$$

dengan J_0 adalah suatu fungsi Bessel, serta A , ω , ψ masing-masing adalah konstanta. Bentuk lain fungsi potensial yang memenuhi misalnya:

$$\phi = AJ_0(\omega\sigma)\sin(\omega\lambda). \quad (24)$$



Gambar 1. Ilustrasi masalah gelombang di pantai bertopografi miring.

Menggunakan kerangka teori di atas, Mungkasi dan Roberts (2012) memandang suatu masalah gelombang pantai seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Salah satu solusi periodik untuk masalah tersebut adalah

$$w = -\frac{1}{2}u^2 + AJ_0(4\pi\sqrt{w+1-x}/T)\cos(2\pi(u+t)/T), \quad (25)$$

$$u = -\frac{AJ_1(4\pi\sqrt{w+1-x}/T)}{\sqrt{w+1-x}}\sin(2\pi(u+t)/T). \quad (26)$$

Perlu diingat bahwa solusi (25) dan (26) adalah dalam bentuk tak-berdimensi. Untuk mengetahui solusi dalam variabel berdimensi, hasil ini perlu ditransformasi balik ke variabel fisisnya.

2.3 Perangkat Lunak ANUGA

ANUGA adalah perangkat lunak yang ditulis dalam bahasa pemrograman Python, dengan prosedur yang komputasinya mahal ditulis dalam bahasa pemrograman C. ANUGA terdiri atas dua kata, yaitu ANU dan GA yang ditulis secara sambung yang merupakan singkatan dari institusi pengembangnya: *Australian National University* (ANU) dan *Geoscience Australia* (GA). ANUGA dikembangkan berdasarkan metode numeris volume hingga untuk masalah-masalah aliran air dua dimensi. Dengan demikian, ANUGA mempunyai kemampuan untuk simulasi masalah berdimensi dua atau dibawahnya, yaitu dimensi satu (Roberts dkk., 2010). Perangkat lunak ANUGA dapat diunduh secara gratis dari laman resminya (<https://anuga.anu.edu.au>).

Model satu dimensi gelombang air dangkal Saint-Venant (1) dan (2) untuk gelombang seperti pada Gambar 1 dapat ditulis ulang menjadi

$$\bar{\mathbf{q}}_t + \bar{\mathbf{f}}(\bar{\mathbf{q}})_{\bar{x}} = \bar{\mathbf{s}}, \quad (27)$$

dengan

$$\bar{\mathbf{q}} = \begin{bmatrix} \bar{h} \\ \bar{h}\bar{u} \end{bmatrix}, \quad \bar{\mathbf{f}}(\bar{\mathbf{q}}) = \begin{bmatrix} \bar{h}\bar{u} \\ \bar{h}\bar{u}^2 + \frac{1}{2}g\bar{h}^2 \end{bmatrix}, \quad \bar{\mathbf{s}} = \begin{bmatrix} 0 \\ -g\bar{h}\bar{z}_{\bar{x}} \end{bmatrix} \quad (28)$$

secara berturut-turut adalah vektor kuantitas kekal, vektor fluks, dan suku sumber. Perilaku penyelesaian model Saint-Venant sangat dipengaruhi oleh kedalaman air dan kecepatan awal gerakan air tersebut.

Model satu dimensi Saint-Venant dengan topografi tanah yang tidak datar (27) dan (28), selanjutnya diperluas lagi ke dalam dua dimensi, seperti yang dipakai dalam perangkat lunak ANUGA (Roberts dkk., 2010). Model dua dimensi Saint-Venant dinyatakan oleh tiga persamaan berikut

$$\frac{\partial \bar{h}}{\partial \bar{t}} + \frac{\partial(\bar{u}\bar{h})}{\partial \bar{x}} + \frac{\partial(\bar{v}\bar{h})}{\partial \bar{y}} = 0, \quad (29)$$

$$\frac{\partial(\bar{u}\bar{h})}{\partial \bar{t}} + \frac{\partial(\bar{u}^2\bar{h} + \frac{1}{2}g\bar{h}^2)}{\partial \bar{x}} + \frac{\partial(\bar{v}\bar{u}\bar{h})}{\partial \bar{y}} = -g\bar{h}\frac{\partial \bar{z}}{\partial \bar{x}} - g\frac{n^2\bar{u}\sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}}{\bar{h}^{1/3}}, \quad (30)$$

$$\frac{\partial(\bar{v}\bar{h})}{\partial \bar{t}} + \frac{\partial(\bar{u}\bar{v}\bar{h})}{\partial \bar{x}} + \frac{\partial(\bar{v}^2\bar{h} + \frac{1}{2}g\bar{h}^2)}{\partial \bar{y}} = -g\bar{h}\frac{\partial \bar{z}}{\partial \bar{y}} - g\frac{n^2\bar{v}\sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}}{\bar{h}^{1/3}}. \quad (31)$$

Variabel bebas untuk model dua dimensi Saint-Venant adalah waktu \bar{t} , ruang \bar{x} , dan ruang \bar{y} . Tiga kuantitas kekal yang terlibat adalah massa yang diwakili oleh kedalaman air $\bar{h} = \bar{h}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{t})$; \bar{x} -momentum $\bar{u}\bar{h}$; dan \bar{y} -momentum $\bar{v}\bar{h}$. Variabel $\bar{u} = \bar{u}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{t})$ mewakili kecepatan dalam arah \bar{x} . Variabel $\bar{v} = \bar{v}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{t})$ menyatakan kecepatan dalam arah \bar{y} . Variabel $\bar{z} = \bar{z}(\bar{x}, \bar{y})$ menyatakan topografi. Konstanta g adalah percepatan gravitasi. Notasi n menyatakan faktor gesek Manning. Dengan mengabaikan kontribusi komponen arah \bar{y} , diperoleh sistem satu dimensi (27) dan (28) yang ekuivalen dengan sistem (1) dan (2).

2.4 Setting Simulasi

Pada subbagian ini, disajikan hasil simulasi gelombang periodik di pantai bertopografi miring. Salah satu paket uji validasi yang sudah tersedia dalam perangkat lunak ANUGA adalah `carrier Greenspan periodic` yang terdapat dalam direktori ANUGA:

`anuga/anuga_core/source/anuga_validation_tests/analytical_exact/carrier Greenspan periodic`
Dalam direktori tersebut, sudah tersedia paket uji simulasi gelombang periodik untuk pantai bertopografi miring. Paket uji simulasi tersebut dibuat oleh penulis dari Universitas Sanata Dharma dan Prof. Dr. Stephen Gwyn Roberts dari *Australian National University*.

Tabel 1. Asumsi parameter dan diskritisasi domain pantai bertopografi miring.

Parameter	Nilai (Satuan dalam SI MKS)
Langkah ruang dimensi kesatu ($\Delta \bar{x}$)	100
Langkah ruang dimensi kedua ($\Delta \bar{y}$)	100
Panjang domain ruang (\bar{L})	50.000
Lebar domain ruang (\bar{W})	500
Kedalaman air di titik asal saat keadaan diam (\bar{h}_0)	500
Periode osilasi	900
Amplitudo di titik asal	1
Percepatan gravitasi	9.81

Misalkan diketahui domain pantai bertopografi miring seperti tampak pada Gambar 1. Domain ini dimasukkan dalam perhitungan numeris ANUGA dengan asumsi parameter seperti dirangkum dalam Tabel 1 dalam satuan Standar Internasional (SI) Meter-Kilogram-Second (MKS).

```

"""
Periodic water flows using ANUGA,
where water driven up a linear sloping beach and time varying boundary.
Ref1: Carrier and Greenspan, Journal of Fluid Mechanics, 1958
Ref2: Mungkasi and Roberts, Int. J. Numerical Methods in Fluids, 2012
"""

#-----
# Import necessary modules
#-----
import sys
import anuga
from anuga import Domain as Domain
from math import cos
from numpy import zeros, array
from time import localtime, strftime, gmtime
from scipy.optimize import fsolve
from math import sin, pi, exp, sqrt
from scipy.special import jn

#-----
# Copy scripts to time stamped output directory and capture screen
# output to file
#-----
time = strftime('%Y%m%d_%H%M%S', localtime())
output_dir = '.'
output_file = 'carrier_greenspan'

#-----
# Setup domain
#-----
#DIMENSIONAL PARAMETERS
dx = 100.
dy = dx

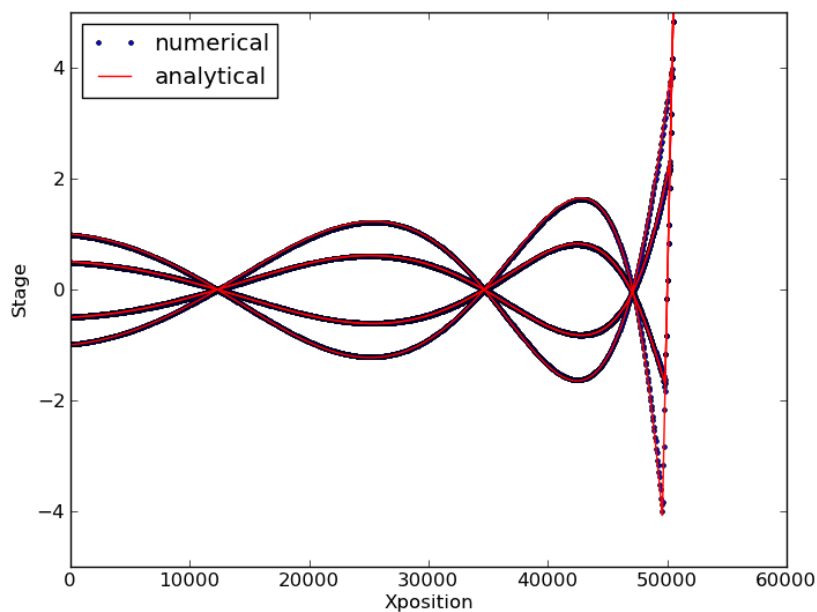
```

Gambar 2. Contoh potongan kode pemrograman Python pada perangkat lunak ANUGA.

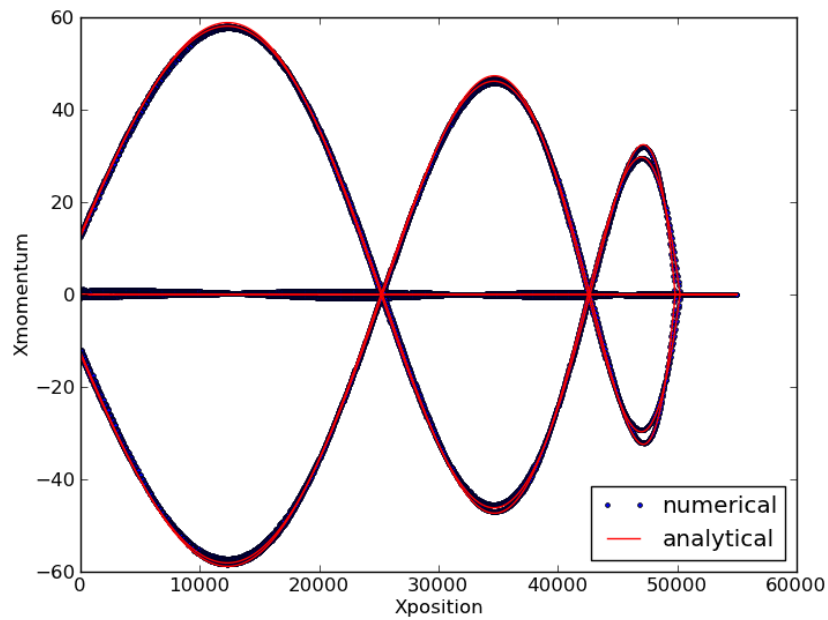
Gambar 2 menunjukkan suatu tampilan potongan kode ANUGA untuk simulasi gelombang periodik pada pantai bertopografi miring. Kode ini menggunakan bahasa pemrograman Python. Seperti pada pemrograman standar Python, di awal program dipanggil semua fungsi yang akan digunakan dari berbagai library yang ada. Selanjutnya, direktori kerja ditetapkan dan parameter perhitungan numeris didefinisikan. Setelah setting numeris telah dibuat, maka input-input tersebut dimasukkan dalam fungsi *evolve* yang berada dalam *class domain* dari ANUGA. Hasil perhitungan disimpan dalam bentuk file berekstensi sww. File sww ini dapat dibuka dengan program ANUGA viewer.

2.5 Hasil dan Diskusi

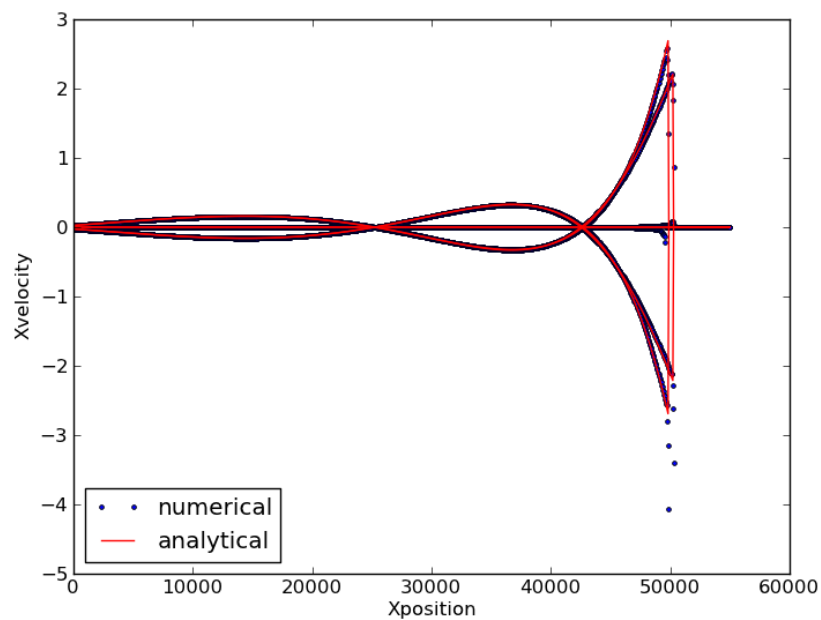
Contoh representasi hasil simulasi ditunjukkan dalam Gambar 3-6. Beberapa kurva permukaan air di pantai hasil simulasi ditunjukkan oleh Gambar 3. Kurva-kurva momentum untuk beberapa waktu yang berbeda ditunjukkan dalam Gambar 4. Ilustrasi kurva kecepatan untuk beberapa waktu yang berbeda ditunjukkan oleh Gambar 5. Dari Gambar 3-5, tampak bahwa solusi numeris ANUGA sangat akurat dibandingkan dengan solusi eksak analitisnya, yaitu kurva solusi numeris ANUGA berhimpit dengan kurva solusi eksaknya. Lebih lanjut, Gambar 6 menunjukkan setelah waktu perhitungan numeris sebesar empat kali periode, gelombang periodik di pantai bertopografi miring benar-benar terbentuk. Perlu dicatat bahwa pada Gambar 2 serta Gambar 3-6, pemrograman, keterangan, dan legenda menggunakan bahasa Inggris, karena perangkat lunak ANUGA memang ditujukan untuk khalayak luas internasional.



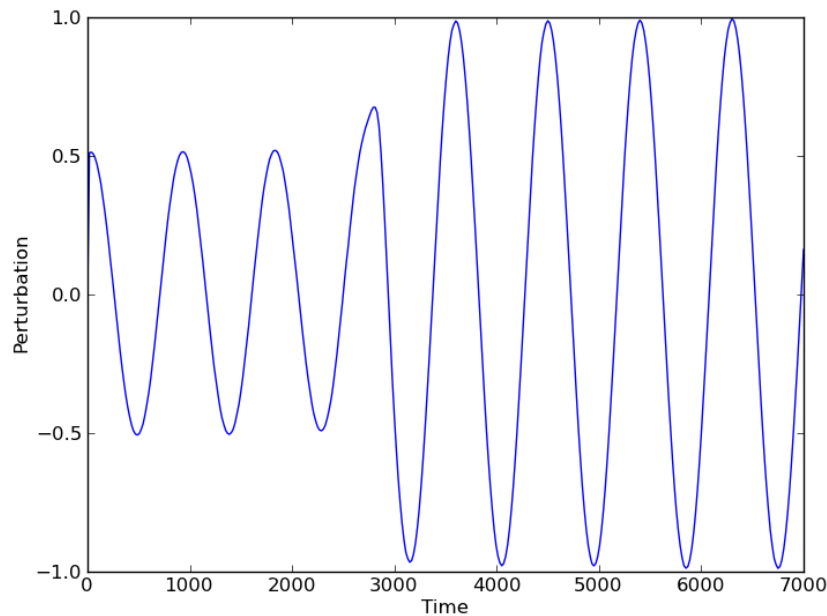
Gambar 3. Hasil simulasi ANUGA untuk ilustrasi permukaan air gelombang periodik.



Gambar 4. Hasil simulasi ANUGA untuk ilustrasi momentum air arah x pada gelombang periodik.



Gambar 5. Hasil simulasi ANUGA untuk ilustrasi kecepatan air arah x pada gelombang periodik.



Gambar 6. Hasil simulasi ANUGA untuk ilustrasi posisi vertikal garis pantai terhadap waktu.

3. KESIMPULAN

Makalah ini telah menyajikan hasil penelitian gelombang periodik di pantai bertopografi miring. Model matematika dan perangkat lunak ANUGA telah divalidasi melalui uji simulasi gelombang periodik di daerah pantai tersebut. Hasil simulasi menunjukkan bahwa solusi numeris ANUGA akurat sesuai dengan solusi eksaknya. Dengan demikian, perangkat lunak ANUGA diyakini dapat digunakan untuk simulasi masalah-masalah gelombang pantai yang lain yang mana solusi eksaknya belum ada secara eksplisit. Dalam penelitian yang akan datang, perlu diteliti secara detail terkait kemampuan ANUGA dalam menyelesaikan masalah antarmuka domain ruang basah dan kering.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana atas dukungan dana Hibah Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi dari Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (Kemenristekdikti) Republik Indonesia tahun 2018.

PUSTAKA

- Aydin, B., Kanoglu, U. 2017. New analytical solution for nonlinear shallow water-wave equations. *Pure and Applied Geophysics*, 174 (8): 3209-3218.
- Bellotti G. & Brocchini, M. 2001. On the shoreline boundary conditions for Boussinesq-type models. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 37 (4): 479-500.
- Briganti, R. & Dodd, N. 2009. Shoreline motion in nonlinear shallow water coastal models. *Coastal Engineering*, 56 (5-6): 495-505.
- Brocchini, M., Svendsen, I. A., Prasad, R. S., & Bellotti, G. 2002. A comparison of two different types of shoreline boundary conditions. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 191 (39-40): 4475-4496.
- Carrier, G. F. & Greenspan, H. P. 1958. Water waves of finite amplitude on a sloping beach. *Journal of Fluid Mechanics*, 4 (1): 97-109.
- Dietrich, J. C., Kolar, R. L., & Luettich, R. A. 2004. Assessment of ADCIRC's wetting and drying algorithm. In C. T. Miller et al. (editors), *Proceedings of the 15th International Conference on Computational Methods in Water Resources (CMWR XV)*, 13-17 June 2004, 2: 1767-1778.
- LeVeque, R. J. 1992. *Numerical Methods for Conservation Laws*. Second edition. Basel: Birkhauser Verlag.
- LeVeque, R. J. 2002. *Finite-Volume Methods for Hyperbolic Problems*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Mungkasi, S. & Roberts, S. G. 2012. Approximations of the Carrier-Greenspan periodic solution to the shallow water wave equations for flows on a sloping beach. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 69 (4): 763-780.
- Ritter, A. 1892. Die fortpflanzung der wasserwellen. *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, 36 (33): 947-954.
- Roberts, S., Nielsen, O., Gray, D., & Sexton, J. 2010. *ANUGA User Manual*. Canberra: Geoscience Australia.
- Saint-Venant, A. J. C. B. 1871. Theorie du mouvement non-permanent des eaux, avec application aux crues des rivières et a l'introduction des mares dans leur lits. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, Paris*, 73: 147-154, 237-240.
- Stoker, J. J. 1948. The formation of breakers and bores. *Communications on Pure and Applied Mathematics*, 1 (1): 1-87.